



TUGAS AKHIR - TM 141585

**ANALISIS PENGARUH KECEPATAN, *STEERING*
ANGLE, BAN DAN KONDISI JALAN TERHADAP
EFFECTIVE LEAN ANGLE DAN PERILAKU BELOK
DARI SEPEDA MOTOR YAMAHA YZF R25**

**AHMAD HILMAN FIRDAUS AL WARIM
NRP. 2112 100 162**

**Dosen Pembimbing:
Prof.Ir.I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



FINAL PROJECT - TM 141585

**ANALYSIS THE EFFECT OF SPEED, STEERING ANGLE,
TIRES DAN ROAD SURFACE TOWARDS EFFECTIVE
LEAN ANGLE AND TURNING BEHAVIOR OF YAMAHA
YZF R25**

**AHMAD HILMAN FIRDAUS AL WARIM
NRP. 2112 100 162**

**Advice Lecturer :
Prof.Ir.I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

**ANALISIS PENGARUH KECEPATAN, *STEERING*
ANGLE, BAN DAN KONDISI JALAN TERHADAP
EFFECTIVE LEAN ANGLE DAN PERILAKU BELOK
DARI SEPEDA MOTOR YAMAHA YZF R25**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AHMAD HILMAN FIRDAUS AL WARIM

NRP. 2112 100 162

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing)
NIP. 195106051978031002
2. Dr. Agus Sigit Pramono, DEA (Penguji I)
NIP. 196508101991021001
3. Dr.ENG. Unggul Wasiwirono, M.Eng.Sc (Penguji II)
NIP. 197805102001121001
4. Ir. Julendra B. Ariatedja, MT.. (Penguji III)
NIP. 196807061999031004

SURABAYA

JULI, 2017

ANALISIS PENGARUH KECEPATAN, STEERING ANGLE, BAN DAN KONDISI JALAN TERHADAP EFFECTIVE LEAN ANGLE DAN PERILAKU BELOK DARI SEPEDA MOTOR YAMAHA YZF R25

Nama : Ahmad Hilman Firdaus Al Warim
NRP : 2112100162
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof.Ir.I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir, perkembangan sepeda motor sport di Indonesia terjadi dengan cukup pesat. Hal ini ditunjukkan dengan digunakannya teknologi *Electronic Control Unit* (ECU) untuk mengatur sistem pembakaran bahan bakar sepeda motor *sport* Yamaha V-ixion pada tahun 2007, menggantikan sistem karburator yang ada pada motor-motor sport generasi sebelumnya. Fenomena tersebut juga mempengaruhi perkembangan dunia balap motor Indonesia khususnya di perlombaan kelas sport 250 cc. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan performa pembalap yang terus menorehkan *lap time* terbaik di sirkuit Sentul pada beberapa event seperti *One Make Race* (OMR), *Indonesia Trackday Series*, *Indonesia Racing Series*, dan *Yamaha Sunday Race* dalam dua tahun terakhir. Secara tidak langsung, hal tersebut mendorong para pembalap Indonesia untuk terus meningkatkan *skill*, khususnya saat berada di tikungan yang menjadi momen krusial untuk melakukan *overtake*. Oleh karena itu, perlu dilakukan sebuah analisis untuk mengetahui pengaruh variabel kecepatan, *steering angle*, ban dan kondisi jalan terhadap *effective lean angle* serta perilaku belok sepeda motor sebagai acuan agar pembalap memahami karakter belok dari sepeda motor.

Pada penelitian tugas akhir ini, penulis akan melakukan tiga metode analisis, yaitu analisis slip, analisis berdasarkan koefisien *understeer* (KUS) dan *skid* dengan beberapa variasi parameter

yaitu kecepatan *steering angle*, tekanan ban, jenis ban dan kondisi jalan untuk mengetahui perilaku belok dari sepeda motor Yamaha YZF R25.

Sebelum memulai analisis, akan dilakukan perhitungan untuk menentukan titik *center of gravity* dari sepeda motor dengan pengendara. Kemudian, variasi *steering angle* akan dimasukkan ke persamaan radius belok Ackermann yang akan saling terkait dengan parameter kecepatan dalam menentukan besarnya nilai gaya sentrifugal dan *effective lean angle*. Selanjutnya, Analisis slip, KUS dan *skid* dapat dilakukan setelah mengetahui parameter-parameter lain yang berpengaruh pada perhitungan gaya-gaya di sumbu x, y, dan z.

Setelah dilakukan analisis, diketahui bahwa stabilitas arah sepeda motor yang paling baik didapat ketika Yamaha YZF R25 berbelok pada aspal kering dengan nilai *steering angle* sebesar $0,1^0$, *effective lean angle* sebesar 50^0 (*maximum lean angle*) dan menggunakan ban radial *slick* dengan besar $P_f = 29$ Psi serta $P_r = 28$ Psi. Ban radial kembangan memiliki perilaku belok yang paling baik saat berada pada $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi. Saat balapan berlangsung dalam kondisi basah (hujan), kembangan yang ada pada ban berfungsi untuk menyapu air keluar dari bidang kontak antara ban dengan jalan sehingga nilai koefisien gesek bertambah dan ban bisa mencengkram aspal dengan baik.

Kata Kunci : *effective lean angle*, KUS, *skid*, slip, *steering angle*, *oversteer*, *understeer*.

ANALYSIS THE EFFECT OF SPEED, STEERING ANGLE, TIRES DAN ROAD SURFACE TOWARDS EFFECTIVE LEAN ANGLE AND TURNING BEHAVIOR OF YAMAHA YZF R25

Student Name : Ahmad Hilman Firdaus Al Warim
NRP : 2112100162
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Advisor Lecturer : Prof.Ir.I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

In last ten years, the development of sport bikes in Indonesia increased significantly. This can be seen with the emerging of Electronic Control Unit (ECU) as a fuel control system for Yamaha V-ixion in 2007, replacing the carburettor system. This things influence the development of racing industry in Indonesia too, it's showed by racers who consistently improving the best lap in recent events at Sentul International Circuit such as One Make Race (OMR), Indonesia Trackday Series, Indospeed Racing Series, and Yamaha Sunday Race. Uncircumtantly, this thing makes the racers need to improve their riding skill, specially in cornering skill which is important to do an overtake in a turn. Therefore, it's necessary to do an analysis the effect of speed ,steering angle, tires and road surface towards effective lean angle and the turning behavior so the rider can understand the turn character of the bike.

This research will use analysis method based on slip, KUS and skid analysis to determine the turning behavior of Yamaha YZF R25 with several variation of parameters such speed, steering angle, tires pressure, tires type and road surface. Before doing the analysis, we will calculate the bike's center of gravity. Then, steering angle variation will be included as an input for Ackermann turning radius equation which is related with speed variation to determine the centrifugal force and the effective lean angle value.

The slip, KUS and skid analysis start when we're finished calculate the other forces that work in X,Y, and Z axis.

After the analysis is done, it's known that Yamaha YZF R25 has a best stability when turn in a dry asphalt with the steering angle value is $0,1^0$, the effective lean angle is 50^0 (maximum lean angle), and use radial slick tires with $P_f = 29$ Psi and $P_r = 28$ Psi. The radial tires has a best stability when the $P_f = 29$ Psi and $P_r = 36$ Psi. The pattern in radial tires is use to sweeps the water outside the contact path between tires and road so the tires will have a better grip.

Keywords: effective lean angle, KUS, skid, slip, steering angle, oversteer, understeer.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir saya yang berjudul “**Analisis Pengaruh Kecepatan, Steering Angle, Ban, dan Kondisi Jalan terhadap Effective Lean Angle dan Perilaku Belok dari Yamaha YZF R25**”. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuannya sehingga dapat terselesaikan sesuai dengan waktu yang diharapkan. Oleh karena itu, izinkan saya untuk mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak tersebut antara lain:

1. Kedua orang tua saya, bapak **Dadan Munajat** dan ibu **Nenden Hernawati** dan juga adik saya, **Fatimah Sarah Zahrawani Munajat** serta **Muhammad Salman Hakim** yang selalu memberikan dukungan dan juga doanya agar segala urusan saya dimudahkan oleh Allah SWT.
2. **Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M,Sc., PhD.**, selaku dosen pembimbing tugas akhir saya, yang telah memberikan segala bimbingan, ilmu, serta masukan selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
3. **Ir. Julendra B. Ariatedja, MT., Dr.Eng Unggul Wasiwiono, ST, M.Eng.Sc.**, dan **Dr. Agus Sigit Pramono, DEA.** selaku dosen penguji dalam siding tugas akhir saya, yang telah memberikan masukan dan saran-saran untuk tugas akhir ini.
4. **Bon Jovi**, yang selalu memberikan semangat dengan lagu *Have A Nice Day, It's My Life, Blaze of Glory* dan lagu-lagu lainnya ketika saya berada di titik jenuh saat mengerjakan tugas akhir ini.

5. Rekan seperjuangan tugas akhir saya, **Sanditra Muda Yusriva**, yang telah menemani berjuang bersama-sama untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh jajaran warga Laboratorium Otomotif, Vibrasi dan Perancangan dan Pengembangan Produk Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
7. **Dimas Angga Pradiga, ST.** selaku SC POROS Teknik Mesin 2012, yang telah membimbing penulis untuk menjadi mahasiswa yang kuat dan mandiri.
8. Keluarga besar **M55**, terima kasih karena telah membantu penulis untuk berjuang dan berkembang selama masa-masa perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS ini.
9. **Sarekat Merah Rakyat Mesin (SMRM)**, dosen serta tenaga pendidik di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, dan juga pihak yang belum disebutkan di atas, terima kasih atas telah memberikan doa, bantuan, dan dukungannya terhadap saya selama ini.

Saya berharap agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Saya paham apabila tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saya berharap adanya kritik dan saran dari para pembaca agar dapat menjadikan tugas akhir ini lebih baik lagi.

Surabaya, 27 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu	5
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1 Geometri Sepeda Motor	7
2.2.2 <i>Center of Gravity</i> Sepeda Motor	9
2.2.3 <i>Caster Angle</i>	12
2.2.4 <i>Lean Angle</i>	13
2.2.5 <i>Steering Angle</i>	16
2.2.6 Radius Belok Sepeda Motor.....	16
2.2.7 Gaya-Gaya pada Sepeda Motor saat Berbelok	18
2.2.8 Perilaku Belok Sepeda Motor.....	23
BAB 3 METODOLOGI	29

3.1	Prosedur Penelitian	29
3.2	<i>Flowchart</i> Penelitian.....	30
3.3	Prosedur Perhitungan dan Analisis	30
3.4	<i>Flowchart</i> Perhitungan dan Analisis.....	35
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Data dan Spesifikasi Kendaraan	37
4.2	Contoh Perhitungan	39
4.2.1	Perhitungan <i>Center of Gravity</i>	40
4.2.2	Perhitungan Radius Belok Ackermann dan Sudut <i>Side Slip</i>	40
4.2.3	Perhitungan <i>Effective Lean Angle</i>	41
4.2.4	Perhitungan Gaya Sentrifugal.....	41
4.2.5	Perhitungan Gaya Hambat Belok, Gaya Hambat Aerodinamik dan Gaya Hambat <i>Rolling</i>	42
4.2.6	Perhitungan Berdasarkan Analisis Slip	46
4.2.7	Perhitungan Berdasarkan Koefisien <i>Understeer</i> (KUS)	48
4.2.8	Perhitungan Berdasarkan Analisis <i>Skid</i>	49
4.2.9	Analisis Perilaku Belok Sepeda Motor dengan Metode KUS pada Variasi Jenis Ban Radial Kembangan dan Ban Radial <i>Slick</i>	49
4.2.10	Analisis Perilaku Belok Sepeda Motor dengan Metode Analisis Slip.....	51
4.2.11	Analisis Kondisi Belok Sepeda Motor Berdasarkan Radius Belok Nyata.....	57
4.2.12	Analisis Perilaku Belok Sepeda Motor Berdasarkan Analisis <i>Skid</i>	59
4.2.13	Analisis Perilaku Belok Sepeda Motor Sebenarnya ..	60

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN.....	67

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengaruh <i>Caster Angle</i> terhadap Radius Belok Ideal untuk <i>Steering Angle</i> sebesar 0.5°	6
Gambar 2.2 Pengaruh <i>Caster Angle</i> terhadap <i>Self Aligning Moment</i> untuk <i>Steering Angle</i> sebesar 0.5°	7
Gambar 2.3 Pengaruh <i>Normal Trail</i> terhadap <i>Self Aligning Moment</i> untuk <i>Steering Angle</i> sebesar 0.5°	8
Gambar 2.4 Geometri Sepeda Motor	8
Gambar 2.5 Metode Pengukuran Ketinggian <i>Center of Gravity</i> Sepeda Motor tanpa Pengendara	10
Gambar 2.6 Metode Pengukuran <i>Center of Gravity</i> Sepeda Motor Horizontal dengan Pengendara.....	11
Gambar 2.7 Metode Pengukuran Ketinggian <i>Center of Gravity</i> Sepeda Motor dengan Pengendara	12
Gambar 2.8 <i>Caster Angle</i>	13
Gambar 2.9 <i>Ideal Lean Angle</i>	14
Gambar 2.10 <i>Effective Lean Angle</i>	15
Gambar 2.11 <i>Steering Angle</i>	16
Gambar 2.12 Model Belok Sepeda Motor dengan Radius Belok Ackermann	17
Gambar 2.13 Model Belok Sepeda Motor dengan Radius Belok Nyata	18
Gambar 2.14 <i>Free Body Diagram</i> Sepeda Motor	19
Gambar 2.15 Pengaruh Tekanan Ban terhadap f_0 dan f_s	21
Gambar 2.16 <i>Free Body Diagram</i> saat Sepeda Motor Berbelok.....	22
Gambar 2.17 Perilaku Arah Belok Kendaraan <i>Oversteer</i>	24
Gambar 2.18 Perilaku Arah Belok Kendaraan <i>Understeer</i>	25
 Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	30
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Perhitungan dan Analisis	35
Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> Perhitungan dan Analisis (Lanjutan).....	36

Gambar 4.1 Penimbangan Sepeda Motor (Miring) dengan Menggunakan Alat Bantu (<i>Paddock</i>)	38
Gambar 4.2 Model Yamaha YZF R25 pada <i>Software Inventor</i> ..	43
Gambar 4.3 Grafik KUS vs δ pada Ban Radial Kembangan dan <i>Slick</i> dengan Tekanan Ban $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi.....	50
Gambar 4.4 Grafik λ vs δ Ban Radial <i>Slick</i> dan Ban Radial Kembangan pada $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi	52
Gambar 4.5 Grafik λ vs δ Ban Radial <i>Slick</i> dan Ban Radial Kembangan pada Tekanan $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi.....	53
Gambar 4.6 Grafik λ vs δ Ban Radial Kembangan pada Tekanan $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi serta Tekanan $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi	55
Gambar 4.7 Grafik λ vs δ Ban Radial <i>Slick</i> pada Tekanan $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi serta Tekanan $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi ...	56
Gambar 4. 8 Tikungan 2 dan Tikungan 7 pada Sirkuit Sentul Indonesia.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien Adhesi Ban pada Berbagai Jenis Permukaan Jalan.....	24
Tabel 4.1 Spesifikasi Geometri Yamaha YZF R25 – 2014.....	37
Tabel 4.2 Radius Belok Nyata pada Yamaha YZF R25 dengan Variasi V , δ , φ , Tekanan Ban dan Jenis Ban.....	58
Tabel 4.3 Hasil Analisis <i>Skid</i> Perilaku Belok Sepeda Motor Yamaha YZF R25 dengan Variasi V , δ , φ , dan Kondisi Jalan pada $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi	59

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sepeda motor adalah salah satu jenis *single-tracked two wheeled vehicle* dimana ia memiliki tingkat stabilitas lateral yang rendah apabila dalam kondisi diam dan menjadi stabil apabila digerakkan maju searah dengan sumbu longitudinal (gerak lurus). Sepeda motor dibagi menjadi dua jenis sesuai penggunaannya yaitu *on-road motorcycle* dan *off-road motorcycle*. *Off-road motorcycle* didesain untuk digunakan di medan-medan sulit sehingga memiliki torsi yang besar dan berat yang relatif lebih ringan dari *on-road motorcycle*. *On-road motorcycle*, yang digunakan pada jalan beraspal, kembali terbagi menjadi beberapa jenis yaitu *scooter*, *moped*, *touring* dan *sport motorcycle* ^[4]. Dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir, perkembangan sepeda motor *sport* di Indonesia terjadi dengan cukup pesat. Hal ini ditunjukkan dengan digunakannya teknologi *Electronic Control Unit* (ECU) untuk mengatur sistem pembakaran bahan bakar pada sepeda motor *sport* Yamaha V-ixion pada tahun 2007, menggantikan sistem karburator yang ada pada motor-motor *sport* generasi sebelumnya.

Fenomena tersebut juga mempengaruhi perkembangan dunia balap motor Indonesia khususnya di perlombaan kelas *sport* 250 cc. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan performa pembalap yang terus menorehkan *lap time* terbaik di sirkuit Sentul pada beberapa *event* seperti Indonesia *Trackday Series*, Indospeed *Race Series* dan Yamaha *Sunday Race* dalam dua tahun terakhir. Secara tidak langsung, hal tersebut mendorong para pembalap Indonesia untuk terus meningkatkan *skill*, khususnya saat berada di tikungan yang menjadi momen krusial untuk melakukan *overtake*. Hal ini tidak

mudah mengingat pembalap harus bergerak untuk memiringkan (*lean*) sepeda motornya agar tidak terpelanting akibat efek dari gaya sentrifugal saat berada di tikungan.

Oleh karena itu, perlu dilakukan sebuah analisis untuk mengetahui pengaruh kecepatan, *steering angle*, ban dan kondisi jalan terhadap *effective lean angle* serta perilaku belok sepeda motor sebagai acuan agar pembalap memahami perilaku belok dari sepeda motor. Selain itu, analisis ini juga dapat menjadi gambaran bagi pembalap agar ia bisa berbelok di tikungan dengan kecepatan setinggi mungkin dalam kondisi yang aman. Kedepannya, analisis ini diharapkan bisa menjadi bahan pertimbangan dan referensi untuk pengembangan performa dari sepeda motor terutama dari segi dinamika saat memasuki tikungan.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh kecepatan dan *steering angle* terhadap *effective lean angle* serta perilaku belok dari sepeda motor Yamaha YZF R25?
2. Variasi ban apa yang paling baik dari sepeda motor Yamaha YZF R25 pada masing-masing variasi tekanan ban yang diberikan?
3. Berapakah kombinasi tekanan yang paling baik bagi ban radial *slick* dan ban radial kembangan?
4. Bagaimana pengaruh variasi jenis ban terhadap kondisi *skid* sepeda motor?
5. Bagaimana kombinasi parameter yang paling optimal untuk mendapatkan stabilitas arah belok sepeda motor Yamaha YZF R25 yang paling baik?

1.3 Tujuan

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh kecepatan dan *steering angle* terhadap *effective lean angle* serta perilaku belok dari sepeda motor Yamaha YZF R25.
2. Mengetahui variasi ban yang paling baik dari sepeda motor Yamaha YZF R25 pada masing-masing variasi tekanan ban yang diberikan.
3. Mengetahui variasi kombinasi tekanan yang paling baik bagi ban radial *slick* dan ban radial kembangan.
4. Mengetahui pengaruh variasi jenis ban terhadap kondisi *skid* sepeda motor.
5. Mengetahui kombinasi parameter yang paling optimal untuk mendapatkan stabilitas arah belok sepeda motor Yamaha YZF R25 yang paling baik.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian hanya dilakukan dengan metode analisis.
2. Jenis sepeda motor yang digunakan dalam analisis adalah Yamaha YZF R25.
3. Sepeda motor dibebani oleh satu pengendara dengan berat 70 kg.
4. Analisis dilakukan pada jalan dengan aspal kering dan aspal basah.
5. Analisis dilakukan pada jalan yang rata dan tidak bergelombang.
6. Pengaruh getaran tidak disertakan dalam analisis.
7. Setiap ban sepeda motor berada dalam kondisi baru.

8. Koefisien gesek antara roda dengan jalan dianggap konstan.
9. Pengendara dan sepeda motor dianggap sebagai *rigid body*.
10. Titik kerja gaya hambat aerodinamika berhimpit dengan posisi titik berat kendaraan.
11. Nilai radius penampang ban diasumsikan setengah dari lebar ban sepeda motor.
12. Aspal sirkuit dalam keadaan kering dianggap memiliki nilai koefisien adhesi yang paling tinggi (0,9) dan memiliki koefisien adhesi yang paling rendah saat berada dalam kondisi basah (0,5).
13. Yamaha YZF R25 memiliki nilai *maximum lean angle* sebesar 50° .

1.5 Manfaat

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat sebagai berikut :

1. Sebagai media bagi penulis untuk meneliti dan mengembangkan teknologi di bidang otomotif.
2. Sebagai referensi bagi pembalap untuk memahami perilaku belok dari Yamaha R25.
3. Sebagai media bagi pembalap untuk meningkatkan teknik mengendarai sepeda motor khususnya saat berbelok (*cornering*).
4. Sebagai bahan pertimbangan dalam pengembangan teknologi sepeda motor terutama dari segi dinamika saat memasuki sebuah tikungan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

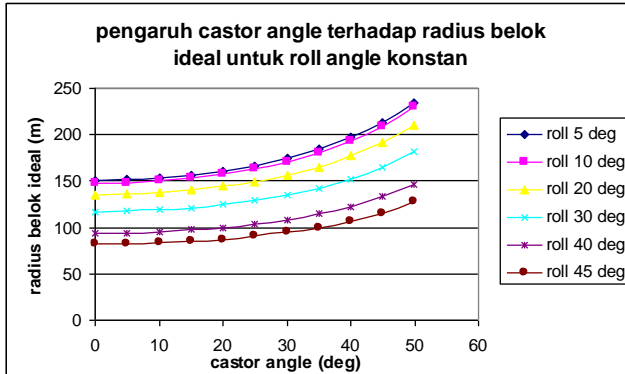
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai stabilitas sepeda motor sebelumnya pernah dilakukan oleh Yohanes pada tahun 2004^[1]. Dalam penelitian tersebut, Yohanes menganalisis pengaruh dua parameter desain geometri sepeda motor yaitu *trail* dan *caster angle*. Analisis ini dilakukan secara teoritis dengan menggunakan perhitungan. Penelitian yang dilakukan oleh Yohanes bertujuan untuk mengetahui karakteristik handling sepeda motor yang optimal.

Yohanes menggunakan beberapa parameter geometri dari sepeda motor Honda Megapro sebagai *input* yang akan diproses melalui perhitungan. Parameter tersebut terdiri dari *wheelbase*, *ground clearance*, *curb weight*, *trail* dan *caster angle*. Penelitian yang dilakukan oleh Yohanes diuji pada sepeda motor dalam kondisi *steady turning*. Hasil dari proses perhitungan parameter tersebut akan ditampilkan dalam bentuk grafik yang mewakili karakteristik *handling* dari sepeda motor^[1].

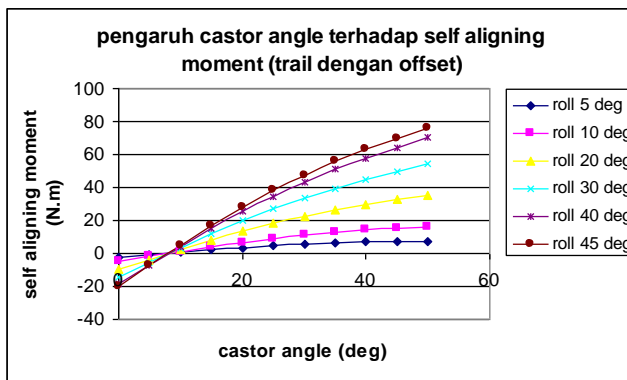
Gambar 2.1 menunjukkan hasil penelitian Yohanes mengenai pengaruh *caster angle* terhadap radius belok ideal sepeda motor untuk *steering angle* konstan sebesar 0.5 °. Dari gambar tersebut, dapat diketahui bahwa peningkatan nilai *caster angle* untuk *roll angle* yang konstan akan memperbesar radius belok ideal sepeda motor. Radius belok ini terlihat mulai meningkat ketika nilai *caster angle* lebih besar dari 10° dan meningkat secara eksponensial terlihat ketika nilai *caster angle* lebih besar dari 20 °. Dari grafik ini, Yohanes menyimpulkan bahwa peningkatan *caster angle* akan

memperbesar radius belok ideal sehingga mengurangi kelincahan gerak (*maneuverability*) dari sepeda motor.



Gambar 2.1 Pengaruh *Caster Angle* terhadap Radius Belok Ideal untuk *Steering Angle* sebesar 0.5°

Gambar 2.2 merupakan grafik hasil penelitian Yohanes mengenai pengaruh *caster angle* terhadap *self aligning moment* untuk *steering angle* sebesar 0.5° . Pada grafik ini, dapat dilihat bahwa nilai *self aligning moment* terus naik secara linear hingga *caster angle* 15° dan berubah secara parabolik hingga *caster angle* sebesar 50° . Saat *caster angle* bernilai $\pm 8^\circ$, *self aligning moment* bernilai nol dan bernilai negatif untuk *caster angle* $< 8^\circ$. Hal ini disebabkan oleh adanya jarak *offset* yang lebih besar atau sama dengan jarak *normal trail* yang dihasilkan dari *caster angle*. Berdasarkan grafik ini, Yohanes menyimpulkan bahwa semakin besar *caster angle* maka nilai *self aligning moment* pun akan semakin besar. Selain itu, jarak *offset* dapat digunakan sebagai media untuk menentukan pasangan *caster angle* dan *trail* sehingga kita dapat memperoleh karakteristik *handling* sepeda motor yang diinginkan.



Gambar 2.2 Pengaruh *Caster Angle* terhadap *Self Aligning Moment* untuk *Steering Angle* sebesar 0.5°

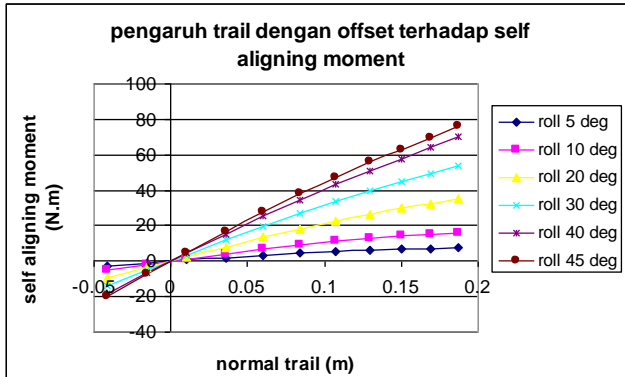
Gambar 2.3, menunjukkan hasil penelitian Yohanes mengenai grafik pengaruh *normal trail* terhadap *self aligning moment* untuk *steering angle* sebesar 0.5° . Sama halnya dengan gambar 2.2, nilai *self aligning moment* akan terus naik seiring dengan meningkatnya nilai dari *normal trail*. Dengan melihat gambar 2.2 dan gambar 2.3, Yohanes menyimpulkan bahwa semakin besar *caster angle* maka nilai (jarak) *normal trail* pun akan semakin besar. Kemudian, pertambahan *caster angle* akan meningkatkan jarak *normal trail* sehingga memperbesar *self aligning moment*.

2.2 Dasar Teori

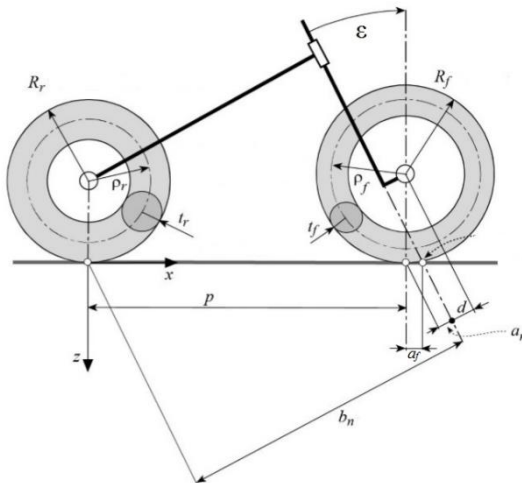
2.2.1 Geometri Sepeda Motor

Untuk menganalisis fenomena gerak yang terjadi pada sepeda motor saat berbelok, kita harus mengetahui spesifikasi geometri dari sepeda motor tersebut. Pada penelitian ini, parameter-parameter yang berhubungan dengan spesifikasi

geometri diambil dari sepeda motor Yamaha YZF R25. Parameter-parameter tersebut akan ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.3 Pengaruh *Normal Trail* terhadap *Self Aligning Moment* untuk Steering Angle sebesar 0.5°



Gambar 2.4 Geometri Sepeda Motor

Dimana a_f adalah *trail* roda depan, a_n adalah *normal trail*, b_n adalah *rear normal trail*, d adalah *offset*, ρ_f adalah radius *torus* ban depan, ρ_r adalah radius *torus* ban belakang, p adalah *wheelbase*, R_f adalah radius roda depan, R_r adalah radius roda belakang, t_f adalah radius penampang ban depan, dan t_r adalah radius penampang ban belakang, dan ε adalah *caster angle*.

Persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai dari parameter-parameter geometri sepeda motor dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\rho_f = R_f - t_f \quad (2.1)$$

$$\rho_r = R_r - t_r \quad (2.2)$$

$$a_n = R_f \sin \varepsilon - d \quad (2.3)$$

$$a_f = \frac{a_n}{\cos \varepsilon} = \frac{R_f}{\tan \varepsilon - d} \quad (2.4)$$

2.2.2 Center of Gravity Sepeda Motor

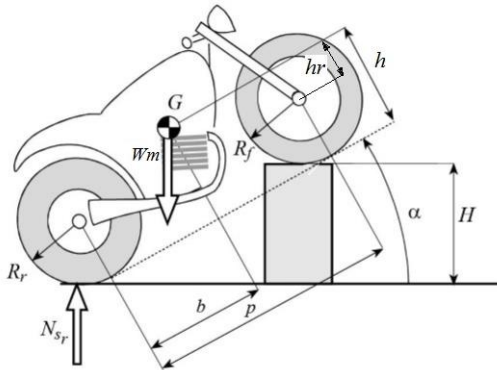
Center of gravity (COG) adalah titik pusat dimana gaya-gaya yang terkait dengan massa seperti gaya gravitasi dan gaya sentrifugal bekerja. Posisi COG sangat menentukan karakteristik gerak sepeda motor, pengaruh perpindahan beban, serta kestabilan geraknya. Untuk mengetahui posisi titik berat sepeda motor, dilakukan suatu pengukuran berat yang ditumpu oleh kedua roda dalam kondisi horisontal dan miring dengan elevasi tertentu di bagian roda depan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5. Dari perhitungan kesetimbangan momen (roda depan sebagai pusat momen) yang ada pada gambar 2.5, kita dapat memperoleh:

$$h = hr + \frac{R_f + R_r}{2} \quad (2.5)$$

$$hr = \left[\frac{N_{sr} \times p}{W_m} - (p - b) \right] \cdot \cot \left[\arcsin \frac{H}{p} \right] \quad (2.6)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.6) ke (2.5), tinggi *center of gravity* berubah menjadi yang dituliskan pada persamaan 2.7 sebagai berikut :

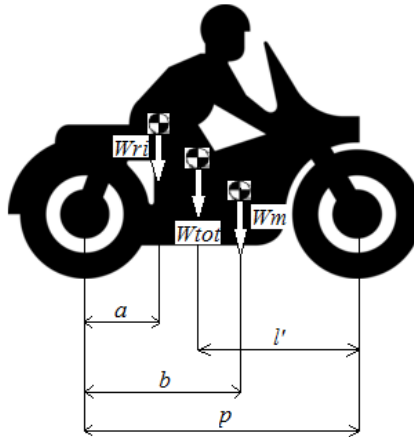
$$h = \left[\frac{N_{sr} \times p}{W_m} - (p - b) \right] \cdot \cot\left[\arcsin \frac{H}{p}\right] + \frac{R_f + R_r}{2} \quad (2.7)$$



Gambar 2.5 Metode Pengukuran Ketinggian *Center of Gravity* Sepeda Motor tanpa Pengendara^[3]

Dimana h adalah tinggi *center of gravity* dari tanah tanpa pengendara, h_r adalah tinggi antara sumbu roda dan *center of gravity* tanpa pengendara, b adalah jarak horizontal antara *center of gravity* ke sumbu roda belakang, H adalah tinggi alat bantu, dan p adalah *wheelbase*. Kemudian N_{sr} adalah berat sepeda motor saat ditimbang dan W_m adalah berat sepeda motor.

Persamaan 2.7 berlaku apabila sepeda motor dalam keadaan tanpa pengendara. Nilai dari *center of gravity* akan berubah ketika sepeda motor dinaiki oleh pengendara. Perubahan *center of gravity* akibat adanya pengendara sepeda motor dapat dilihat dari gambar 2.6.



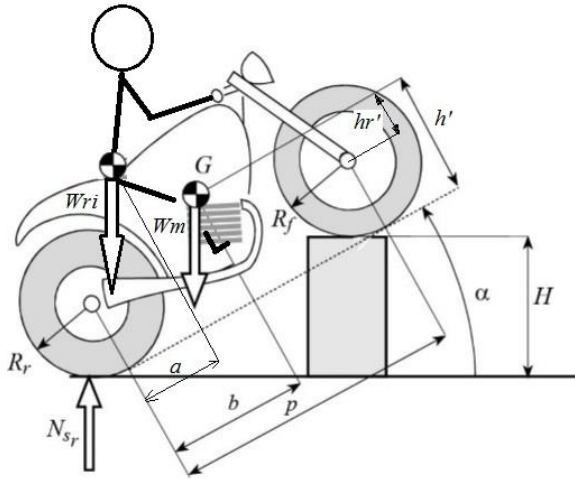
Gambar 2.6 Metode Pengukuran *Center of Gravity* Sepeda Motor Horizontal dengan Pengendara

Dari perhitungan kesetimbangan momen (roda depan sebagai pusat momen) yang ada pada gambar 2.6, kita dapat memperoleh:

$$l' = \frac{W_m \cdot (p-b) + W_{ri} \cdot (p-a)}{W_{tot}} \quad (2.8)$$

$$W_{tot} = W_m + W_{ri} \quad (2.9)$$

Dengan adanya pengendara, ketinggian dari *center of gravity* pun ikut berubah. Perubahan ketinggian *center of gravity* akibat adanya pengendara sepeda motor dapat dilihat dari gambar 2.7



Gambar 2.7 Metode Pengukuran Ketinggian *Center of Gravity* Sepeda Motor dengan Pengendara

Dari perhitungan kesetimbangan momen (roda depan sebagai pusat momen) yang ada pada gambar 2.7, kita dapat memperoleh:

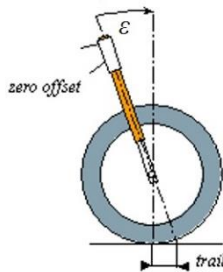
$$h' = \left[\frac{N_{sr} \times p}{W_{tot}} - \frac{W_{ri}(p-a)}{W_{tot}} - \frac{W_m(p-b)}{W_{tot}} \right] \cdot \cot\left[\arcsin \frac{H}{p}\right] + \frac{R_f + R_r}{2} \quad (2.10)$$

Dimana a adalah jarak horizontal antara sumbu roda belakang dengan *center of gravity* pengendara, h' adalah tinggi *center of gravity* sepeda motor dengan, W_{ri} adalah berat pengendara, dan W_{tot} adalah berat pengendara dan sepeda motor .

2.2.3 Caster Angle

Caster angle (ϵ) adalah sudut antara sumbu putar kemudi sepeda motor (*handlebar*) dengan sumbu vertikal. Jika sumbu putar kemudi berhimpit dengan sumbu vertikal, roda depan sepeda

motor akan berputar sebesar sudut yang diberikan pengendara pada *handlebar*. Namun, jika sumbu putar kemudi sepeda motor tidak berhimpit dengan sumbu vertikal (terdapat *caster angle*), akan terjadi perbedaan antara sudut *input* pengendara pada *handlebar* dengan sudut belok di roda depan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yohanes, semakin besar *caster angle* akan mengurangi kelincahan (*maneuverability*) karena memperbesar radius belok dari sepeda motor. *Caster angle* ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Caster Angle*

2.2.4 *Lean Angle*

Tidak seperti kendaraan lainnya, sepeda motor harus berada dalam kondisi miring (*lean*) saat memasuki tikungan agar gaya beratnya mampu mengimbangi gaya sentrifugal. Sudut yang dibuat oleh pengendara yang sedang memiringkan sepeda motornya terhadap sumbu vertikal disebut dengan *lean angle*. Kondisi sepeda motor dalam keadaan *lean* ditunjukkan oleh gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Ideal Lean Angle*

Besarnya *ideal lean angle* yang dibutuhkan oleh sepeda motor dapat ditulis lewat persamaan sebagai berikut :

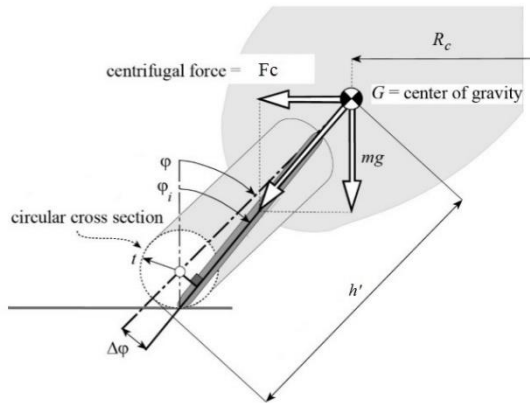
$$\begin{aligned}
 \Sigma M &= 0 \\
 F_c \cdot h' \cos \varphi_i - W \cdot h' \sin \varphi_i &= 0 \\
 F_c &= W \tan \varphi_i \\
 \tan \varphi_i \cdot mg &= m \frac{v^2}{R} \\
 \varphi_i &= \arctan \frac{v^2}{gR} \quad (2.11)
 \end{aligned}$$

Dimana φ_i adalah *ideal lean angle*, F_c adalah gaya sentrifugal, g adalah percepatan gravitasi, h' adalah tinggi *center of gravity* sepeda motor dengan pengendara, m adalah massa sepeda motor dan pengendara, R adalah radius belok sepeda motor, dan W adalah gaya berat sepeda motor dan pengendara .

2.2.4.1 Effective Lean Angle

Persamaan 2.11 adalah persamaan *lean angle* yang digunakan ketika ketebalan dari ban tidak diperhatikan pada analisis, persamaan ini juga dapat disebut sebagai persamaan *ideal lean angle*. Pada keadaan sebenarnya, ketebalan ban akan mempengaruhi perhitungan karena akan menimbulkan peningkatan sudut belok. Penjumlahan sudut belok ideal dan sudut belok tambahan disebut sebagai *effective lean angle*. Sepeda motor yang berbelok dengan *effective lean angle* ditunjukkan pada gambar 2.10. Besarnya *effective lean angle*^[3] dituliskan lewat persamaan :

$$\varphi = \arctan \frac{v^2}{gR_c} + \arcsin \frac{t \cdot \sin(\arctan \frac{v^2}{gR_c})}{h' - t} \quad (2.12)$$

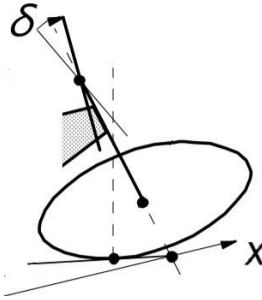


Gambar 2.10 *Effective Lean Angle*

Dimana, φ adalah *effective lean angle*, $\Delta\varphi$ adalah sudut belok tambahan, G adalah titik *center of gravity*, h' adalah tinggi *center of gravity* sepeda motor dan pengendara, dan t adalah radius penampang ban.

2.2.5 Steering Angle

Steering angle (δ) adalah sudut antara sumbu horizontal kemudi dan sumbu pergerakan *handlebar* yang dibuat oleh pengendara sepeda motor. Pergerakan *handlebar* tersebut akan memutar roda depan sepeda motor sesuai dengan arah yang diberikan oleh pengendara. *Steering angle* pada kemudi sepeda motor ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Steering Angle

2.2.6 Radius Belok Sepeda Motor

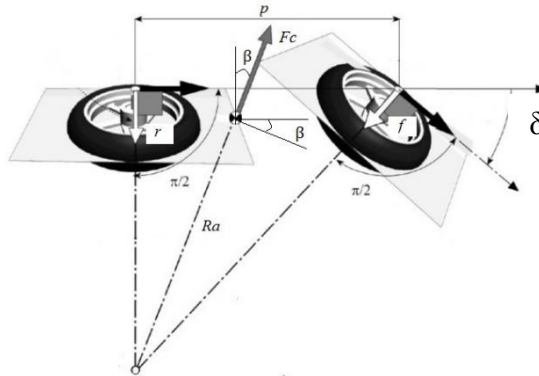
2.2.6.1 Radius Belok Ackermann

Radius belok Ackermann merupakan radius belok sepeda motor yang tidak memperhitungkan sudut slip yang terjadi pada ban. Umumnya, radius belok Ackermann hanya terjadi saat sepeda motor berbelok dengan kecepatan rendah. Gerakan sepeda motor saat berbelok dengan radius belok Ackermann ditunjukkan pada gambar 2.12. Persamaan radius belok Ackermann dan sudut *side slip* sepeda motor dapat dituliskan dengan :

$$R_a = \frac{p}{\delta} 57,29 \quad (2.13)$$

$$\beta = \arcsin \frac{p-l'}{R_a} \quad (2.14)$$

Dimana R_a adalah radius belok Ackermann, δ adalah *steering angle*, dan β adalah sudut *side slip* sepeda motor.

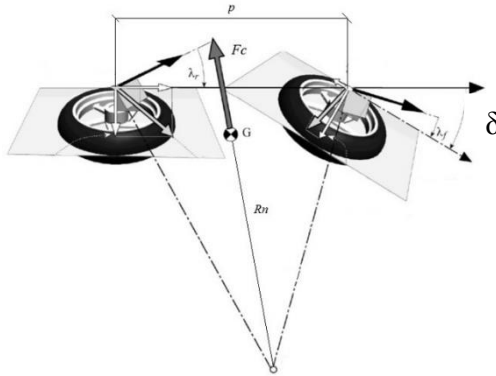


Gambar 2.12 Model Belok Sepeda Motor dengan Radius Belok Ackermann

2.2.6.2 Radius Belok Nyata

Pada kenyataannya, kondisi sepeda motor saat berbelok sangat dipengaruhi oleh gaya sentrifugal. Selain membuat pengendara harus memiringkan sepeda motornya, gaya sentrifugal juga dapat menimbulkan sudut slip pada setiap ban. Radius belok sepeda motor yang memperhitungkan besarnya sudut slip disebut sebagai radius belok nyata. Gerakan sepeda motor saat berbelok dengan radius nyata ditunjukkan pada gambar 2.13. Besarnya radius belok nyata sepeda motor dapat dituliskan lewat persamaan:

$$R_n = \frac{p}{\delta + \lambda_r - \lambda_f} \quad 57,29 \quad (2.15)$$



Gambar 2.13 Model Belok Sepeda Motor dengan Radius Belok Nyata

Dimana R_n adalah radius belok nyata, p adalah *wheelbase*, λ_f adalah sudut slip roda depan, λ_r adalah sudut slip roda belakang, dan G adalah titik *center of gravity*.

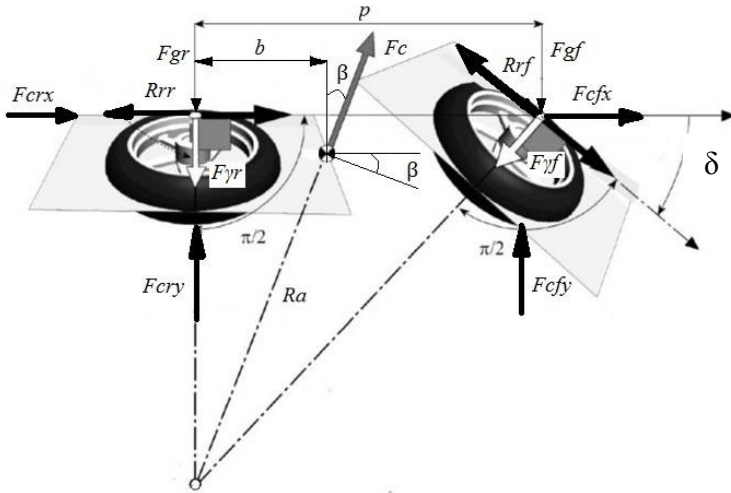
2.2.7 Gaya-Gaya pada Sepeda Motor saat Berbelok

Untuk menentukan jenis perilaku tersebut, kita harus mengetahui gaya-gaya yang bekerja pada sepeda motor saat berbelok. Gaya-gaya yang bekerja pada sepeda motor saat berbelok ditunjukkan pada gambar 2.14.

Gaya sentrifugal yang terjadi saat sepeda motor berbelok dituliskan lewat persamaan sebagai berikut :

$$F_c = m_{\text{tot}} \cdot \frac{v^2}{R} \quad (2.16)$$

Gaya sentrifugal ini akan diproyeksikan pada sumbu longitudinal dan lateral sehingga muncul persamaan :



Gambar 2.14 Free Body Diagram Sepeda Motor

$$F_{cx} = F_c \cdot \sin \beta$$

$$F_{cfx} = \left(\frac{p-l'}{p} \right) F_c \cdot \sin \beta \quad (2.17)$$

$$F_{crx} = \left(\frac{l'}{p} \right) F_c \cdot \sin \beta \quad (2.18)$$

$$F_{cy} = F_c \cdot \cos \beta$$

$$F_{cfy} = \left(\frac{p-l'}{p} \right) F_c \cdot \cos \beta \quad (2.19)$$

$$F_{cry} = \left(\frac{l'}{p} \right) F_c \cdot \cos \beta \quad (2.20)$$

Dimana, F_c adalah gaya sentrifugal, F_{cx} adalah gaya sentrifugal pada sumbu longitudinal, F_{cy} adalah gaya sentrifugal pada sumbu lateral, dan m_{tot} adalah massa sepeda motor dengan pengendara.

Sedangkan gaya kemiringan sepeda motor (*chamber thrust*) pada roda depan dan roda belakang yang terjadi yaitu :

$$F_{Yf} = \left(\frac{p-l'}{p} \right) W_{tot} \cdot \tan \varphi \quad (2.21)$$

$$F_{Yr} = \left(\frac{l'}{p} \right) W_{tot} \cdot \tan \varphi \quad (2.22)$$

Dimana F_{Yf} adalah gaya belok sepeda motor di roda depan, F_{Yr} adalah gaya belok sepeda motor di roda belakang, dan φ adalah *effective lean angle*. Kedua gaya ini memiliki satuan (N).

Besar gaya hambat aerodinamika (*drag force*) dan gaya hambat *rolling* (*rolling resistance*) yang terjadi pada sepeda motor dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut :

$$R_a = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot A_f \cdot V^2 \quad (2.23)$$

$$R_{af} = \left(\frac{p-l'}{p} \right) R_a \quad (2.24)$$

$$R_{ar} = \left(\frac{l'}{p} \right) R_a \quad (2.25)$$

$$R_r = f_r \cdot W_{tot} \dots \quad (2.26)$$

$$R_{rf} = \left(\frac{p-l'}{p} \right) f_r \cdot W_{tot} \quad (2.27)$$

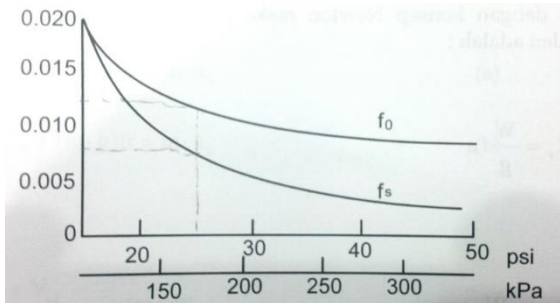
$$R_{rr} = \left(\frac{l'}{p} \right) f_r \cdot W_{tot}. \quad (2.28)$$

Dimana R_a adalah hambatan angin, R_r adalah *rolling resistance*, ρ adalah massa jenis angin, C_D adalah koefisien *drag* sepeda motor, A_f adalah *frontal area*, V adalah kecepatan sepeda motor, f_r adalah koefisien hambatan *rolling* ban, dan W_{tot} adalah berat sepeda motor dengan pengendara.

Nilai koefisien hambatan *rolling* ban (f_r) berkaitan dengan koefisien lain yaitu f_0 dan f_s . Hubungan antara f_r , f_0 dan f_s dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$f_r = f_0 + f_s \left(\frac{V}{100} \right)^{2,5} \quad (2.29)$$

Koefisien f_0 dan f_s adalah koefisien yang besarnya bergantung pada tekanan ban sepeda motor. Nilai tersebut dapat diketahui dari grafik yang merupakan hasil studi dari J.J Taborek. Hubungan antara f_0 , f_s dan tekanan ban ditunjukkan oleh gambar 2.15.



Gambar 2.15 Pengaruh Tekanan Ban terhadap f_0 dan f_s ^[5]

Selanjutnya, gaya-gaya tersebut akan diproyeksikan ke sumbu x , y dan z . Gaya longitudinal (F_x) yang terjadi pada setiap ban sepeda motor adalah :

$$F_{xr} = (F_{crx} - R_{ar}) - R_{rr} \quad (2.30)$$

$$F_{xf} = (F_{cfx} - R_{af}) \cos \delta - F_{cfy} \cdot \sin \delta - R_{rf} \quad (2.31)$$

Gaya lateral (F_y) yang terjadi pada setiap ban sepeda motor saat berbelok adalah :

$$F_{yr} = F_{cry} - F\gamma_r \quad (2.32)$$

$$F_{yf} = F_{cfy} \cdot \cos \delta + (F_{cfx} - R_{af}) \sin \delta - F\gamma_f \quad (2.33)$$

Dimana F_{xf} adalah gaya longitudinal pada roda depan, F_{xr} adalah gaya longitudinal pada roda belakang, F_{yf} adalah gaya lateral pada roda depan, dan F_{yr} adalah gaya lateral pada roda belakang.

Untuk mengetahui besarnya gaya normal pada sepeda motor, kita harus menguraikan gaya-gaya yang terdapat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Free Body Diagram saat Sepeda Motor Berbelok

Berdasarkan gambar 2.16, persamaan gaya normal didapatkan dari kesetimbangan momen dan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$N_f = W_{tot} \frac{p-l'}{p} + F_{cx} \frac{h'}{p} \cos \varphi - R_a \frac{h'}{p} \cos \varphi \quad (2.34)$$

$$N_r = W_{tot} \frac{l'}{p} - F_{cx} \frac{h'}{p} \cos \varphi + R_a \frac{h'}{p} \cos \varphi \quad (2.35)$$

Dimana N_f adalah gaya normal sepeda motor di roda depan dan N_r adalah gaya normal sepeda motor di roda belakang.

Setelah mengetahui gaya normal, kita dapat mengetahui gaya gesek pada sepeda motor. Besarnya gaya gesek tersebut dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut :

$$F_{gf} = \mu \cdot N_f \quad (2.36)$$

$$F_{gr} = \mu \cdot N_r \quad (2.37)$$

Dimana F_{gf} adalah gaya gesek antara ban depan dengan jalan dan F_{gr} adalah gaya gesek antara ban belakang dengan jalan.

Koefisien adhesi (μ) memiliki peran yang penting dalam menahan gaya lateral dengan cara menimbulkan gaya gesek antara permukaan jalan dan ban kendaraan. J. J. Taborek melakukan studi mengenai nilai koefisien adhesi rata-rata antara ban dan jalan untuk beberapa jenis permukaan jalan. Nilai tersebut yang ditunjukkan oleh tabel 2.1.

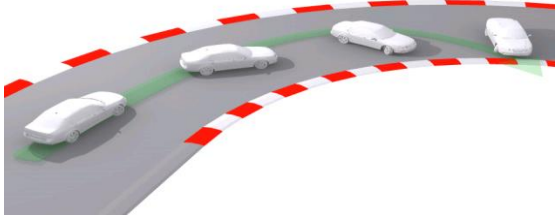
2.2.8 Perilaku Belok Sepeda Motor

2.2.8.1 *Oversteer*

Perilaku *oversteer* merupakan kondisi dimana sepeda motor berbelok lebih dari yang diinginkan oleh pengendara saat berada di tikungan. Kondisi ini terjadi ketika radius belok nyata sepeda motor lebih kecil dari radius belok idealnya atau sudut slip depan lebih kecil daripada sudut slip roda belakang ($\lambda_f < \lambda_r$) . Kondisi *oversteer* ditunjukkan pada gambar 2.17.

Tabel 2.1 Koefisien Adhesi Ban pada Berbagai Jenis Permukaan Jalan

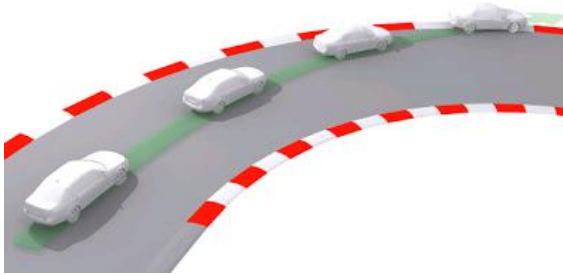
Permukaan Jalan	Koefisien Adhesi Tertinggi (μ_p)	Koefisien Adhesi Roda Lock (μ_s)
Aspal dan beton (kering)	0,8 - 0,9	0,75
Aspal (basah)	0,5 – 0,7	0,55 – 0,6
Beton (basah)	0,8	0,7
Gravel	0,6	0,55



Gambar 2.17 Perilaku Arah Belok Kendaraan Oversteer

2.2.8.2 Understeer

Perilaku *understeer* merupakan kondisi dimana sepeda motor sulit untuk dibelokkan saat berada di tikungan. Kondisi ini terjadi ketika radius belok nyata sepeda motor lebih tinggi dari radius belok idealnya atau saat sudut slip roda depan lebih besar daripada sudut slip roda belakang ($\lambda_f > \lambda_r$). Kondisi *understeer* ditunjukkan pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Perilaku Arah Belok Kendaraan Understeer

2.2.8.3 Netral

Perilaku netral merupakan kondisi dimana sepeda motor berbelok sesuai dengan lintasan yang telah ditentukan. Kondisi ini terjadi ketika radius belok nyata sepeda motor sama dengan radius belok ideal atau saat sudut slip depan sama dengan sudut slip roda belakang ($\lambda_f = \lambda_r$). Lintasan belok yang dilalui oleh sepeda motor sesuai dengan profil radius belok Ackermann^[2].

2.2.8.4 Analisis Slip

Pada kondisi nyata, sepeda motor tidak mampu menempuh radius belok ideal akibat beberapa faktor, salah satunya akibat slip. Slip terjadi akibat adanya gaya samping (lateral) pada ban sepeda motor. Besarnya sudut slip yang terjadi pada ban sepeda motor radial baru dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\lambda_i = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y\lambda_i})^{0,79008} - 0,005277 (F_{n_i})] \quad (2.38)$$

Untuk ban sepeda motor radial gundul (*slick*) baru, persamaan yang digunakan dituliskan dengan persamaan :

$$\lambda_i = \frac{C_{rg}}{C_{rb}} \cdot \frac{C_{rs}}{C_{rp}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y\lambda_i})^{0,79008} - 0,005277 (F_{n_i})] \quad (2.39)$$

$$C_{rb} = 0,00301003 (F_{y\lambda_i})^{1,207861} \quad (2.40)$$

$$C_{rg} = 0,0023636 (F_{y\lambda_i})^{1,222203} \quad (2.41)$$

$$C_{rp} = 3,35 + 5,30 (P) - 0,0916 (P)^2 \quad (2.42)$$

$$C_{rs} = 3,35 + 5,30 (P_s) - 0,0916 (P_s)^2 \quad (2.43)$$

$$C_{rx} = \left[\frac{F_{y\lambda_i} + 0,107927 (F_x)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} \quad (2.44)$$

$$C_{ro} = \left[\frac{F_{y\lambda_i}}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} \quad (2.45)$$

Dimana λ_i adalah sudut slip pada setiap ban dalam satuan (0), $F_{y\lambda_i}$ adalah gaya lateral yang terjadi pada setiap ban, F_{n_i} adalah gaya normal yang terjadi pada setiap ban, F_x adalah gaya longitudinal yang terjadi pada setiap ban, P adalah tekanan aktual ban sepeda motor, dan P_s adalah tekanan standar ban sepeda motor.

Hubungan antara λ_f dan λ_r terhadap perilaku sepeda motor saat berbelok adalah :

- a. $\lambda_f > \lambda_r$, maka kendaraan akan mengalami *understeer*
- b. $\lambda_f = \lambda_r$, maka kendaraan mempunyai perilaku netral saat berbelok
- c. $\lambda_f < \lambda_r$, maka kendaraan akan mengalami *oversteer*

2.2.8.5 Koefisien *Understeer* (KUS)

Perilaku belok sepeda motor dapat diketahui juga lewat nilai Koefisien *Understeer* (KUS). Sepeda motor akan berbelok dengan perilaku netral apabila nilai $KUS = 0$, *undesteer* apabila

nilai KUS >0 , dan *oversteer* apabila nilai KUS <0 . Nilai KUS dapat diketahui lewat persamaan sebagai berikut :

$$KUS = \frac{g \cdot R}{V^2} (\lambda_f - \lambda_r) \quad (2.46)$$

Dimana K_{US} adalah *Understeer index*, V adalah kecepatan sepeda motor, g adalah percepatan gravitasi, dan R adalah radius belok nyata sepeda motor.

2.2.8.6 Analisis Skid

Skid merupakan kondisi dimana terjadinya pergeseran bidang kontak antara ban sepeda motor dengan permukaan jalan yang diakibatkan oleh gaya lateral yang sudah tidak mampu lagi ditahan oleh gaya gesek antara ban dengan permukaan jalan. Agar sepeda motor tidak mengalami *skid*, besarnya gaya lateral yang terjadi pada roda depan (F_{yf}) dan belakang (F_{yr}) harus lebih kecil dari gaya gesek yang terjadi antara ban dan permukaan jalan, Kondisi ini dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$F_{gf} > F_{yf} \quad (2.47)$$

$$F_{gr} > F_{yr} \quad (2.48)$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

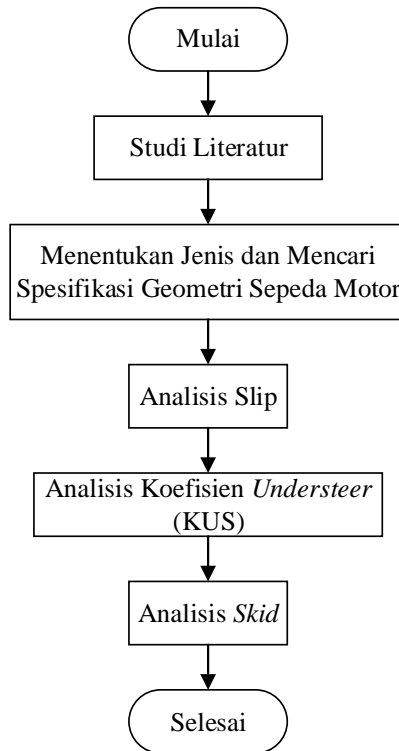
BAB 3 METODOLOGI

3.1 Prosedur Penelitian

Dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini, terdapat empat tahap yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan. Tahap pertama yang akan dilakukan adalah studi literatur terhadap beberapa referensi seperti buku, jurnal dan penelitian terdahulu mengenai stabilitas sepeda motor saat berbelok. Dari referensi tersebut, akan diambil hal-hal yang berhubungan dengan penelitian tugas akhir ini. Kemudian, akan ditentukan jenis sepeda motor yang akan diteliti beserta spesifikasinya.

Dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini, sepeda motor yang akan diteliti adalah Yamaha YZF R25 tahun 2014. Selanjutnya, akan dilakukan analisis slip untuk mengetahui besarnya sudut slip pada roda depan dan roda belakang sehingga akan diketahui perilaku belok dari sepeda motor Yamaha YZF R25. Tahap keempat, akan dilakukan analisis berdasarkan Koefisien *Understeer* (KUS). Tahap kelima, akan dilakukan analisis *skid* untuk mengetahui aman atau tidaknya Yamaha YZF R25 berbelok dengan beberapa variasi *steering angle* dan kecepatan yang telah ditentukan.

3.2 *Flowchart* Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

3.3 Prosedur Perhitungan dan Analisis

Dalam perhitungan serta analisis slip dan *skid* pada penelitian tugas akhir ini, terdiri beberapa langkah yang akan dilakukan, yaitu :

1. Mencari data-data spesifikasi geometri sepeda Motor Yamaha YZF R25 sebagai input.

2. Menentukan variasi input yang akan dimasukkan pada perhitungan dan analisis yaitu :

- Kecepatan yang divariasikan yaitu : 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, dan 160 km/jam.
- *Steering angle* yang divariasikan yaitu : $0,1^0$, $0,15^0$, $0,2^0$, $0,25^0$, dan $0,3^0$.
- Koefisien adhesi jalan datar:

$$\mu \text{ jalan aspal kering} = 0,9$$

$$\mu \text{ jalan aspal basah} = 0,5$$

3. Menghitung perubahan letak titik *center of gravity* akibat adanya pengendara dengan menggunakan persamaan :

$$l' = \frac{Wm.(p-b) + Wri.(p-a)}{W_{tot}}$$

$$h' = \left[\frac{Nsr \times p}{W_{tot}} - \frac{Wri.(p-a)}{W_{tot}} - \frac{Wm.(p-b)}{W_{tot}} \right] \cdot \cot \left[\arcsin \frac{H}{p} \right] + \frac{Rf + Rr}{2}$$

4. Menghitung radius belok Ackermann dengan menggunakan persamaan :

$$R_a = \frac{p}{\delta} 57,29$$

$$\beta = \arcsin \frac{p-l'}{R_a}$$

5. Menghitung *effective lean angle* dengan menggunakan persamaan :

$$\varphi = \arctan \frac{v^2}{g R_c} + \arcsin \frac{t \cdot \sin(\arctan \frac{v^2}{g R_c})}{h' - t}$$

6. Menghitung gaya sentrifugal dengan menggunakan persamaan :

$$F_c = m_{\text{tot}} \cdot \frac{V^2}{R}$$

$$F_{\text{cfx}} = \left(\frac{p-l'}{p} \right) F_c \cdot \sin \beta$$

$$F_{\text{crx}} = \left(\frac{l'}{p} \right) F_c \cdot \sin \beta$$

$$F_{\text{cfy}} = \left(\frac{p-l'}{p} \right) F_c \cdot \cos \beta$$

$$F_{\text{cry}} = \left(\frac{l'}{p} \right) F_c \cdot \cos \beta$$

7. Menghitung gaya hambat aerodinamik dengan menggunakan persamaan :

$$R_a = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot A_f \cdot V^2$$

$$R_{\text{af}} = \left(\frac{p-l'}{p} \right) R_a$$

$$R_{\text{ar}} = \left(\frac{l'}{p} \right) R_a$$

8. Menghitung gaya hambat *rolling* dengan menggunakan persamaan :

$$R_r = f_r \cdot W_{\text{tot}}$$

$$R_{\text{rf}} = \left(\frac{p-l'}{p} \right) f_r \cdot W_{\text{tot}}$$

$$R_{\text{rr}} = \left(\frac{l'}{p} \right) f_r \cdot W_{\text{tot}}$$

besarnya f_r dapat diketahui dari persamaan berikut :

$$f_r = f_0 + f_s \left(\frac{V}{100} \right)^{2,5}$$

9. Menghitung gaya -gaya yang terjadi pada ban di sumbu x, y dan z dengan menggunakan persamaan :

$$F_{\text{xr}} = (F_{\text{crx}} - R_{\text{ar}}) - R_{\text{rr}}$$

$$F_{\text{xf}} = (F_{\text{cfx}} - R_{\text{af}}) \cos \delta - F_{\text{cfy}} \cdot \sin \delta - R_{\text{rf}}$$

$$F_{yr} = F_{cry} - F\gamma r$$

$$F_{yf} = F_{cfy} \cdot \cos \delta + (F_{cfx} - R_{af}) \sin \delta - F\gamma f$$

$$Nf = W_{tot} \frac{p-l'}{p} + F_{cx} \frac{h'}{p} \cos \varphi - R_a \frac{h'}{p} \cos \varphi$$

$$Nr = W_{tot} \frac{l'}{p} - F_{cx} \frac{h'}{p} \cos \varphi + R_a \frac{h'}{p} \cos \varphi$$

10. Menganalisis perilaku belok sepeda motor (netral, *understeer* atau *oversteer*) melalui analisis slip dengan menggunakan persamaan :

Ban Radial Baru

$$\lambda_i = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y\lambda_i})^{0,79008} - 0,005277 (F_{n_i})]$$

dimana :

$$C_{rp} = 3,35 + 5,30 (P) - 0,0916 (P)^2$$

$$C_{rs} = 3,35 + 5,30 (P_s) - 0,0916 (P_s)^2$$

$$C_{rx} = \left[\frac{F_{y\lambda_i} + 0,107927 (F_x)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$$

$$C_{ro} = \left[\frac{F_{y\lambda_i}}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$$

Ban Radial Gundul (*Slick*)

$$\lambda_i = \frac{C_{rg}}{C_{rb}} \cdot \frac{C_{rs}}{C_{rp}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y\lambda_i})^{0,79008} - 0,005277 (F_{n_i})]$$

dimana :

$$C_{rb} = 0,00301003 (F_{y\lambda_i})^{1,207861}$$

$$C_{rg} = 0,0023636 (F_{y\lambda_i})^{1,222203}$$

11. Menganalisis perilaku belok sepeda motor (netral, *understeer* atau *oversteer*) dengan menggunakan koefisien understeer (KUS) lewat persamaan :

$$K_{US} = \frac{g \cdot R}{V^2} (\lambda_f^\circ - \lambda_r^\circ)$$

12. Menentukan apakah kendaraan mengalami *skid* atau tidak melalui analisis *skid* dengan menggunakan persamaan :

$$\mu \cdot N_f > \frac{p-l'}{p} F_{cy} \cdot \cos \delta + \frac{p-l'}{p} (F_{cx} - R_a) \sin \delta -$$

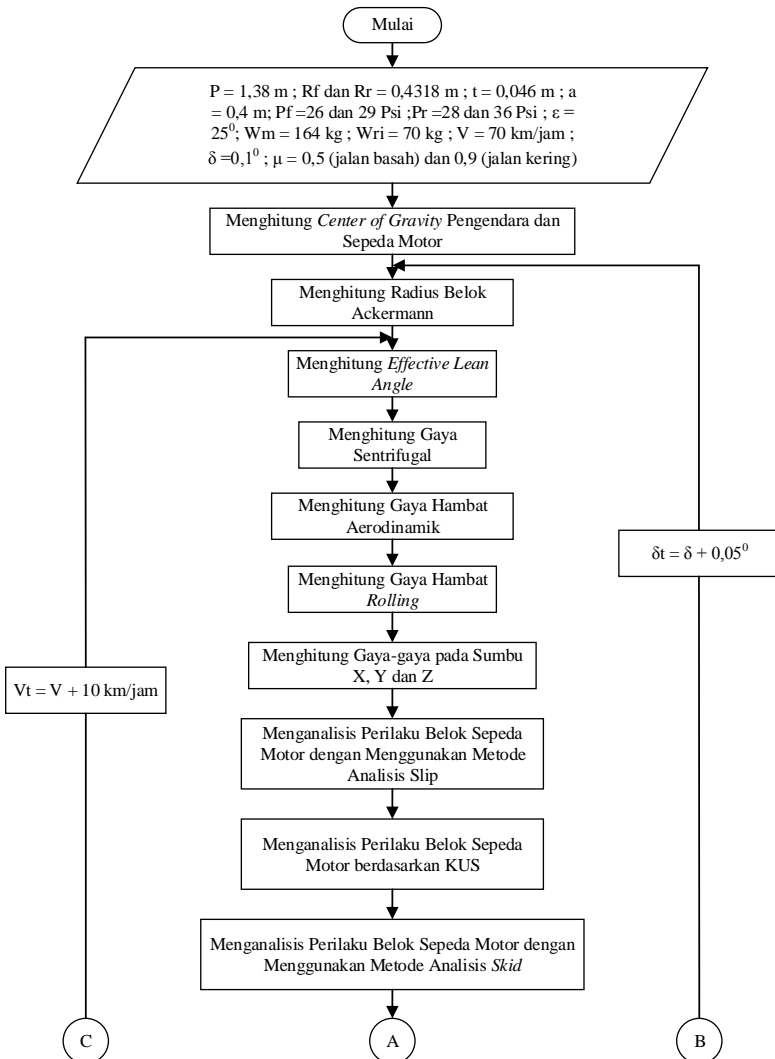
$$F_{yf}$$

$$\mu \cdot N_f > F_{cy} - F_{yr}$$

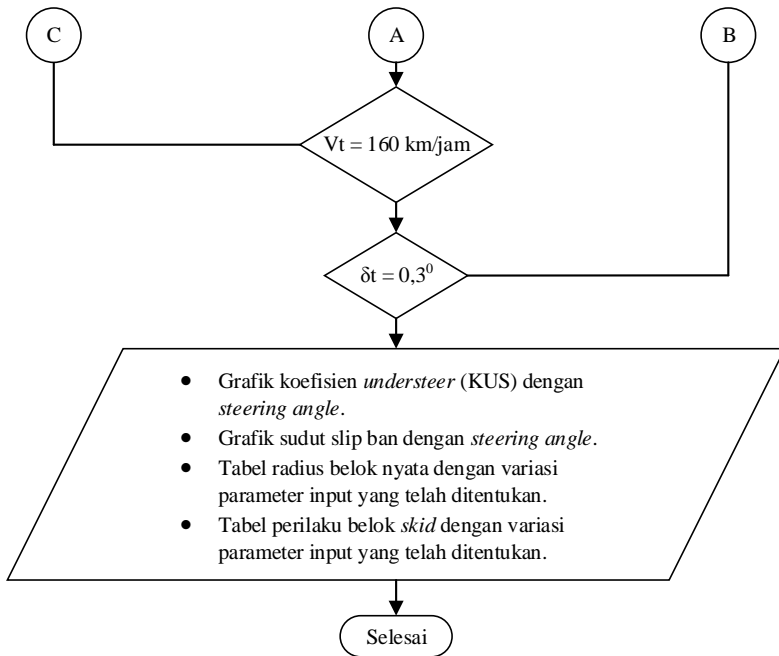
13. Mendapatkan *output* dari analisis slip dan *skid* dari sepeda motor Yamaha YZF R25 yang berupa :

- Grafik koefisien *understeer* (KUS) dengan *steering angle*.
- Grafik sudut slip ban dengan *steering angle*.
- Tabel radius belok nyata dengan variasi parameter input yang telah ditentukan.
- Tabel perilaku belok *skid* dengan variasi parameter input yang telah ditentukan.

3.4 Flowchart Perhitungan dan Analisis



Gambar 3. 2 Flowchart *Perhitungan dan Analisis*



Gambar 3.3 Flowchart *Perhitungan dan Analisis*
(*Lanjutan*)

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Spesifikasi Kendaraan

Untuk melakukan perhitungan dan analisis tentang perilaku belok dari sepeda motor Yamaha YZF R25, langkah pertama yang akan dilakukan adalah mengetahui data-data spesifikasi geometri kendaraan. Spesifikasi tersebut didapatkan dari buku panduan dan hasil pengukuran. Spesifikasi geometri dari sepeda motor Yamaha YZF R25 dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Spesifikasi Geometri Yamaha YZF R25 – 2014^[6]

YAMAHA YZF R25 - 2014	
Panjang x Lebar x Tinggi	2090 x 720 x 1135 mm
<i>Wheelbase</i>	1380 mm
<i>Ground Clearance</i>	160 mm
<i>Seat Height</i>	780 mm
<i>Caster Angle</i>	25°
<i>Trail</i>	95 mm
Ukuran Roda Depan	110/70 - R17
Ukuran Roda Belakang	140/70 - R17
Tekanan Ban	F : 29 Psi / R : 36 Psi
Berat Kosong	164 kg
Weight Distribution	50 : 50

Selanjutnya, akan dilakukan pengukuran untuk mengetahui jarak horizontal *center of gravity* pengendara dari sumbu roda belakang. Selain itu, akan dilakukan juga pengukuran untuk mengetahui jarak *center of gravity* vertikal sepeda motor dengan pengendara. Pada pengukuran ini, digunakan *paddock* sebagai alat bantu untuk memiringkan sepeda motor. Metode pengukuran ini dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Penimbangan Sepeda Motor (Miring) dengan Menggunakan Alat Bantu (*Paddock*)

Setelah dua pengukuran tersebut selesai dilakukan, didapatkan beberapa nilai dari parameter-parameter. Berikut ini merupakan nilai dari parameter yang didapatkan lewat perhitungan.

- $a = 0,4 \text{ m}$
- $b = 0,69 \text{ m}$
- $N_{sr} = 100,6 \times 9,81 = 986,886 \text{ N}$ ($N_{sr}=N_{sf}$)
- $H = 0,044 \text{ m}$

Kemudian, hasil pengukuran tersebut akan dihitung sesuai dengan persamaan (2.11). Pada kasus ini, bagian sepeda yang ditimbang adalah roda depan karena *paddock* berfungsi untuk menaikkan roda belakang. Perbedaan ini tidak merubah nilai *center of gravity* vertikal sepeda motor dengan pengendara yang dicari dengan kesetimbangan momen. Setelah melalui proses perhitungan, dapat diketahui bahwa jarak horizontal *center of gravity* sepeda motor dengan pengendara (h') sepeda motor Yamaha YZF R25 berada pada 0,2615 m di atas permukaan tanah.

Variasi parameter yang akan digunakan pada contoh perhitungan analisis perilaku belok dari Yamaha YZF R25 adalah sebagai berikut.

- Variasi kecepatan, $V_1 = 70$ km/jam ; $V_2 = 80$ km/jam ; $V_3 = 90$ km/jam ; $V_4 = 100$ km/jam ; $V_5 = 110$ km/jam ; $V_6 = 120$ km/jam ; $V_7 = 130$ km/jam ; $V_8 = 140$ km/jam ; $V_9 = 150$ km/jam ; $V_{10} = 160$ km/jam.
- Variasi sudut belok, $\delta_1 = 0,1^\circ$; $\delta_2 = 0,15^\circ$; $\delta_3 = 0,2^\circ$; $\delta_4 = 0,25^\circ$; $\delta_5 = 0,3^\circ$.
- Variasi permukaan jalan $\mu_{ak} = 0,9$; $\mu_{ab} = 0,5$.
- Variasi tekanan udara ban, $P_1 = 26$ Psi dan 28 Psi ; $P_2 = 29$ Psi dan 36 Psi.
- Variasi ban dengan kembangan dan tanpa kembangan (*slick*).

4.2 Contoh Perhitungan

Berikut ini merupakan contoh perhitungan untuk mengetahui perilaku belok dari sepeda motor Yamaha YZF R25. Data-data teknis yang akan digunakan dalam contoh perhitungan ini adalah :

- Sepeda motor melaju dengan kecepatan 90 km/jam (25 m/s).
- Sepeda motor melaju di sirkuit dengan aspal yang kering ($\mu = 0,9$).
- Tekanan udara ban depan sebesar 26 Psi dan ban belakang sebesar 28 Psi.

- Sepeda motor dibelokkan dengan *steering angle* sebesar $\delta = 0,1^\circ$.

4.2.1 Perhitungan *Center of Gravity*

Letak *center of gravity* vertikal dan horizontal sepeda motor akan berubah akibat penambahan massa pengendara. Kedua titik ini dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.8) dan (2.10). Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk menentukan letak *center of gravity* horizontal sepeda motor dengan pengendara.

$$l' = \frac{W_m.(p-b) + W_{ri}.(p-a)}{W_{tot}}$$

$$l' = \frac{164 \times 9,81 \cdot (1,38 - 0,69) + 70 \times 9,81 \cdot (1,38 - 0,4)}{234 \times 9,81}$$

$$l' = 0,78 \text{ m}$$

Letak *center of gravity* vertikal sepeda motor dan pengendara dapat diketahui lewat perhitungan sebagai berikut.

$$h' = \left[\frac{N_{sr} \times p}{W_{tot}} - \frac{W_{ri} \cdot (p-a)}{W_{tot}} - \frac{W_m \cdot (p-b)}{W_{tot}} \right] \cdot \cot \left[\arcsin \frac{H_p}{p} \right] + \frac{R_f + R_r}{2}$$

$$h' = \left[\frac{986,886 \times 1,38}{234 \times 9,81} - \frac{70 \times 9,81 \cdot (1,38 - 0,4)}{234 \times 9,81} - \frac{164 \cdot (1,38 - 0,69)}{234 \times 9,81} \right] \cdot \cot \left[\arcsin \frac{0,044}{1,38} \right] + \frac{0,4318 + 0,4318}{2}$$

$$h' = 0,2615 \text{ m}$$

4.2.2 Perhitungan Radius Belok Ackermann dan Sudut *Side Slip*

Radius belok Ideal dari sepeda motor Yamaha YZF R25 dapat diketahui lewat perhitungan sebagai berikut.

$$R_a = \frac{p}{\delta} 57,29$$

$$R_a = \frac{1,38}{0,1} 57,29$$

$$R_a = 790,6 \text{ m}$$

Besarnya sudut *side slip* yang terjadi adalah :

$$\beta = \arcsin \frac{p-l'}{R_a}$$

$$\beta = \arcsin \frac{1.38-0.78}{790,6}$$

$$\beta = 0,04372^0$$

4.2.3 Perhitungan *Effective Lean Angle*

Effective lean angle yang diperlukan oleh sepeda motor Yamaha YZF R25 saat berbelok dapat diketahui lewat perhitungan sebagai berikut.

$$\varphi = \arctan \frac{v^2}{gR_c} + \arcsin \frac{t \cdot \sin(\arctan \frac{v^2}{gR_c})}{h'-t}$$

$$\varphi = \arctan \frac{25^2}{9,81 \times 790,6} + \arcsin \frac{0.07 \cdot \sin(\arctan \frac{25^2}{9,81 \times 790,6})}{0.2615 - 0.07}$$

$$\varphi = 6,29^0$$

4.2.4 Perhitungan Gaya Sentrifugal

Besarnya gaya sentrifugal yang terjadi sepeda motor Yamaha YZF R25 saat berbelok dapat diketahui lewat perhitungan sebagai berikut.

$$F_c = m_{\text{tot}} \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$F_c = 234 \cdot \frac{25^2}{790,6} = 184,986 \text{ N}$$

Gaya sentrifugal yang terjadi di sumbu longitudinal dan lateral saat sepeda Yamaha YZF R25 berbelok adalah sebesar :

$$F_{cx} = F_c \cdot \sin \beta$$

$$F_{cx} = 184,986 \cdot \sin 0,04372 = 0,14115 \text{ N}$$

$$F_{cfx} = \left(\frac{p-l'}{p} \right) F_c \cdot \sin \beta = \left(\frac{1.38-0.78}{1.38} \right) 0,14115 = 0,0617 \text{ N}$$

$$F_{crx} = \left(\frac{l'}{p} \right) F_c \cdot \sin \beta = \left(\frac{0.78}{1.38} \right) 0,14115 = 0,07945 \text{ N}$$

$$F_{cy} = F_c \cdot \cos \beta$$

$$F_{cy} = 184,986 \cdot \cos 0,04372 = 184,98 \text{ N}$$

$$F_{cfy} = \left(\frac{1.38-0.78}{1.38} \right) 184,98 = 80,8642 \text{ N}$$

$$F_{cry} = \left(\frac{0.78}{1.38} \right) 184,98 = 104,121 \text{ N}$$

4.2.5 Perhitungan Gaya Hambat Belok, Gaya Hambat Aerodinamik dan Gaya Hambat *Rolling*

Besarnya gaya belok yang terjadi pada sepeda motor Yamaha YZF R25 dapat diketahui lewat perhitungan sebagai berikut.

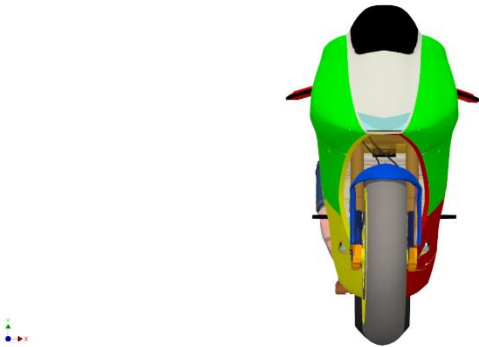
$$F_{\gamma f} = \left(\frac{p-l'}{p} \right) W_{tot} \cdot \tan \varphi$$

$$F_{\gamma f} = \left(\frac{1.38-0.78}{1.38} \right) 234 \times 9,81 \times \tan 6,29^0 = 110,602 \text{ N}$$

$$F_{\gamma r} = \left(\frac{l'}{p} \right) W_{tot} \cdot \tan \varphi$$

$$F_{\gamma r} = \left(\frac{0.78}{1.38} \right) 234 \times 9,81 \times \tan 6,29^0 = 142,412 \text{ N}$$

Sebelum menghitung gaya hambat aerodinamika (*drag force*), kita harus mengetahui besarnya koefisien *drag* dan *frontal area* dari sepeda motor Yamaha YZF R25. Pada buku *Motorcycle Dynamics*, Cossalter menyatakan bahwa nilai koefisien *drag* untuk sepeda motor sport 250 cc ber*fairing* adalah 0,35. Sementara itu, besarnya nilai *frontal area* Yamaha YZF R25 didapatkan dari hasil perhitungan pada *software* Inventor yaitu sebesar 1,204 m². Gambar model *frontal body* dari Yamaha YZF R25 ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Model Yamaha YZF R25 pada *Software Inventor*

Setelah kita mengetahui nilai tersebut, nilai gaya hambat aerodinamika (*drag force*) yang terjadi pada sepeda motor Yamaha YZF R25 dapat diketahui lewat perhitungan sebagai berikut :

$$R_a = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot A_f \cdot V^2$$

$$R_a = \frac{1}{2} 1,23 \cdot 0,35 \cdot 1,204 \cdot 25^2 = 161,98 \text{ N}$$

$$R_{af} = \left(\frac{p-l'}{p} \right) R_a$$

$$R_{af} = \left(\frac{1,38 - 0,78}{1,38} \right) 161,98 = 70,81 \text{ N}$$

$$R_{ar} = \left(\frac{l'}{p} \right) R_a$$

$$R_{ar} = \left(\frac{0,78}{1,38} \right) 161,98 = 91,17 \text{ N}$$

Sebelum menghitung gaya hambat *rolling*, kita harus mengetahui besarnya f_r yang dapat diketahui lewat perhitungan sebagai berikut :

Roda Depan

$$f_r = f_0 + f_s \left(\frac{V}{100} \right)^{2,5}$$

$$f_r = 0,0115 + 0,007 \left(\frac{25}{100} \right)^{2,5} = 0,01172$$

Roda Belakang

$$f_r = f_0 + f_s \left(\frac{V}{100} \right)^{2,5}$$

$$f_r = 0,011 + 0,006 \left(\frac{25}{100} \right)^{2,5} = 0,01119$$

Lalu nilai f_r tersebut akan dimasukkan kedalam perhitungan sebagai berikut :

$$R_{rf} = \left(\frac{p-l'}{p} \right) f_r \cdot W_{tot} = \left(\frac{1.38 - 0.78}{1.38} \right) 0,01172 \cdot 1608,84 = 11,7594 \text{ N}$$

$$R_{rr} = \left(\frac{l'}{p} \right) f_r \cdot W_{tot} = \left(\frac{0.78}{1.38} \right) 0,01119 \cdot 1608,84 = 14,4551 \text{ N}$$

4.1.1 Perhitungan Gaya Longitudinal, Gaya Lateral, Gaya Normal dan Gaya Gesek

Besarnya gaya longitudinal, gaya lateral, gaya normal dan gaya gesek yang terjadi pada sepeda motor Yamaha YZF R25 saat berbelok dapat diketahui lewat perhitungan sebagai berikut.

Gaya Longitudinal

$$F_{xr} = (F_{crx} - R_{ar}) - R_{rr}$$

$$F_{xr} = (0,07945 - 91,17) - 14,4551$$

$$F_{xr} = 105,545 \text{ N} = 23,7277 \text{ lb}$$

$$F_{xf} = (F_{cfx} - R_{af}) \cos \delta - F_{cfy} \cdot \sin \delta - R_{rf}$$

$$F_{xf} = (0,0617 - 70,8056) \cos 0,1 - 80,8642 \cdot \sin 0,1 - 11,7594$$

$$F_{xf} = 82,644 \text{ N} = 18,5793 \text{ lb}$$

Gaya Lateral

$$F_{yr} = F_{cry} - F_{\gamma r}$$

$$F_{yr} = 104,121 - 14,412$$

$$F_{yr} = -38,29 \text{ N} = -8,6081 \text{ lb}$$

$$F_{yf} = F_{c fy} \cdot \cos \delta + (F_{c fx} - R_{af}) \sin \delta - F_{\gamma f}$$

$$F_{yf} = 80,8642 \cdot \cos 0,1 + (0,0617 - 70,8056) \sin 0,1 - 110,602$$

$$F_{yf} = -29,86 \text{ N} = -6,71313 \text{ lb}$$

Gaya Normal

$$N_f = W_{\text{tot}} \frac{p-l'}{p} + F_{cx} \frac{h'}{p} \cos \varphi - R_a \frac{h'}{p} \cos \varphi$$

$$N_f = 234 \times 9,81 \frac{1,38-0,78}{1,38} + 0,14115 \frac{0,2615}{1,38} \cos 6,29 - 161,98 \frac{0,2615}{1,38} \cos 6,29$$

$$N_f = 972,986 \text{ N} = 218,737 \text{ lb}$$

$$N_r = W_{\text{tot}} \frac{l'}{p} - F_{cx} \frac{h'}{p} \cos \varphi + R_a \frac{h'}{p} \cos \varphi$$

$$N_r = 234 \times 9,81 \frac{0,78}{1,38} - 0,14115 \frac{0,36}{1,38} \cos 6,29 + 161,98 \frac{0,36}{1,38} \cos 6,29$$

$$N_r = 1322,556 \text{ N} = 297,324 \text{ lb}$$

Gaya Gesek

$$F_{gf} = \mu \cdot N_f$$

$$F_{gf} = 0,9 \cdot 972,986 = 875,6874 \text{ N} = 196,863 \text{ lb}$$

$$F_{gr} = \mu \cdot N_r$$

$$F_{gr} = 0,9 \cdot 1322,556 = 1190,304 \text{ N} = 267,591 \text{ lb}$$

4.2.6 Perhitungan Berdasarkan Analisis Slip

Besarnya sudut slip yang terjadi pada roda depan dan belakang sepeda motor Yamaha YZF R25 saat berbelok dapat diketahui lewat perhitungan sebagai berikut.

Ban Radial Kembangan

Ban Depan

$$C_{rp} = 3,35 + 5,30 (P) - 0,0916 (P)^2$$

$$C_{rp} = 3,35 + 5,30 (26) - 0,0916 (26)^2 = 79,23$$

$$C_{rs} = 3,35 + 5,30 (P_s) - 0,0916 (P_s)^2$$

$$C_{rs} = 3,35 + 5,30 (25) - 0,0916 (25)^2 = 78,6$$

$$C_{rx} = \left[\frac{F_{y\lambda_i} + 0,107927 (F_x)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$$

$$C_{rx} = \left[\frac{6,71313 + 0,107927 (18,5793)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} = 0,00215$$

$$C_{ro} = \left[\frac{F_{y\lambda_i}}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$$

$$C_{ro} = \left[\frac{6,71313}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} = 0,00124$$

$$\lambda_f = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y\lambda_i})^{0,79008} - 0,005277 (F_{n_i})]$$

$$\lambda_f = \frac{79,23}{78,6} \cdot \frac{0,00215}{0,00124} [0,087935 (6,71313)^{0,79008} - 0,005277 (218,737)]$$

$$\lambda_f = -1,3254^0$$

Ban Belakang

$$C_{rp} = 3,35 + 5,30 (P) - 0,0916 (P)^2$$

$$C_{rp} = 3,35 + 5,30 (28) - 0,0916 (28)^2 = 80$$

$$C_{rs} = 3,35 + 5,30 (P_s) - 0,0916 (P_s)^2$$

$$C_{rs} = 3,35 + 5,30 (25) - 0,0916 (25)^2 = 78,6$$

$$C_{rx} = \left[\frac{F_{y\lambda_i} + 0,107927 (F_x)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$$

$$C_{rx} = \left[\frac{8,6081 + 0,107927 (23,7277)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} = 0,00363$$

$$C_{ro} = \left[\frac{F_{y\lambda_i}}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$$

$$C_{ro} = \left[\frac{8,6081}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} = 0,0021$$

$$\lambda_r = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y\lambda_i})^{0,79008} - 0,005277 (F_{n_i})]$$

$$\lambda_r = \frac{80}{78,6} \cdot \frac{0,00363}{0,0021} [0,087935 (8,6081)^{0,79008} - 0,005277 (267,591)]$$

$$\lambda_r = -1,913^0$$

Ban Radial Slick

Ban Depan

$$C_{rb} = 0,00301003 (F_{y\lambda_i})^{1,207861}$$

$$C_{rb} = 0,00301003 (6,71313)^{1,207861} = 0,03002$$

$$C_{rg} = 0,0023636 (F_{y\lambda_i})^{1,222203}$$

$$C_{rg} = 0,0023636 (6,71313)^{1,222203} = 0,02422$$

$$\lambda_f = \frac{C_{rg}}{C_{rb}} \cdot \frac{C_{rs}}{C_{rp}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y\lambda_i})^{0,79008} - 0,005277 (F_{n_i})]$$

$$\lambda_f = \frac{0,02422}{0,03002} \cdot \frac{78,6}{79,2284} \cdot \frac{0,00215}{0,00124} [0,087935 (6,71313)^{0,79008} - 0,005277 (218,737)]$$

$$\lambda_f = -1,0527^0$$

Ban Belakang

$$C_{rb} = 0,00301003 (F_{y\lambda_i})^{1,207861}$$

$$C_{rb} = 0,00301003(8,6081)^{1,207861} = 0,04053$$

$$C_{rg} = 0,0023636 (F_{y\lambda_i})^{1,222203}$$

$$C_{rg} = 0,0023636 (8,6081)^{1,222203} = 0,03283$$

$$\lambda_r = \frac{C_{rg}}{C_{rb}} \cdot \frac{C_{rs}}{C_{rp}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y\lambda_i})^{0,79008} - 0,005277 (F_{n_i})]$$

$$\lambda_r = \frac{0,03283}{0,04053} \cdot \frac{78,6}{80} \cdot \frac{0,00363}{0,0021} [0,087935 (8,6081)^{0,79008} - 0,005277 (267,591)]$$

$$\lambda_r = -1,4981^0$$

Berdasarkan perhitungan sudut slip ini, dapat diketahui bahwa sudut slip yang terjadi pada ban depan lebih besar daripada sudut slip yang terjadi pada ban belakang. Hal itu menunjukkan bahwa perilaku arah belok sepeda motor Yamaha YZF R25 ini ialah *understeer* atau sulit berbelok.

4.2.7 Perhitungan Berdasarkan Koefisien *Understeer* (KUS)

Setelah melakukan perhitungan analisis slip, akan dilakukan analisis perilaku belok sepeda motor berdasarkan koefisien *understeer* (KUS). Apabila nilai KUS < 0, sepeda motor akan berbelok dalam keadaan *understeer*, apabila nilai KUS > 0, sepeda motor akan berbelok dalam keadaan *oversteer* dan apabila nilai KUS = 0, sepeda akan berbelok dalam keadaan netral. Nilai KUS yang terjadi saat sepeda motor berbelok dapat ditunjukkan lewat perhitungan sebagai berikut.

$$K_{US} = \frac{g \cdot R}{v^2} (\lambda_f - \lambda_r)$$

$$K_{US} = \frac{9,81 \cdot -162,084}{25^2} - 1,32542^\circ - (-1,9132^\circ) = -1,4953$$

Berdasarkan contoh perhitungan KUS di atas, dapat diketahui bahwa sepeda motor Yamaha YZF R25 berbelok dalam keadaan *oversteer* (nilai KUS negatif).

4.2.8 Perhitungan Berdasarkan Analisis *Skid*

Besarnya gaya lateral yang terjadi pada roda depan dan belakang harus mampu ditahan oleh gaya gesek yang terjadi antara ban dan permukaan jalan agar sepeda motor tidak mengalami *skid*. Kondisi *skid* ban depan dan belakang pada sepeda motor Yamaha YZF R25 saat berbelok dapat diketahui lewat perhitungan sebagai berikut.

F_{gf}	$> F_{yf}$
196,863 lb	$> -6,71313 \text{ lb}$ (terpenuhi)
F_{gf}	$> F_{yf}$
267,591 lb	$> -8,6081 \text{ lb}$ (terpenuhi)

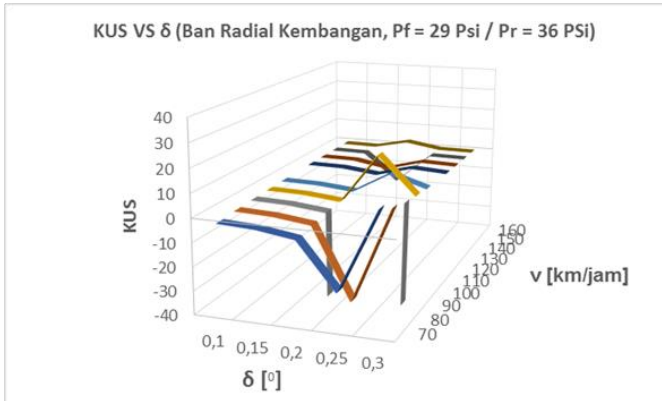
Berdasarkan contoh perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa dengan kondisi yang diberikan, kedua ban sepeda motor Yamaha YZF R25 tidak mengalami *skid*.

4.2.9 Analisis Perilaku Belok Sepeda Motor dengan Metode KUS pada Variasi Jenis Ban Radial Kembangan dan Ban Radial *Slick*

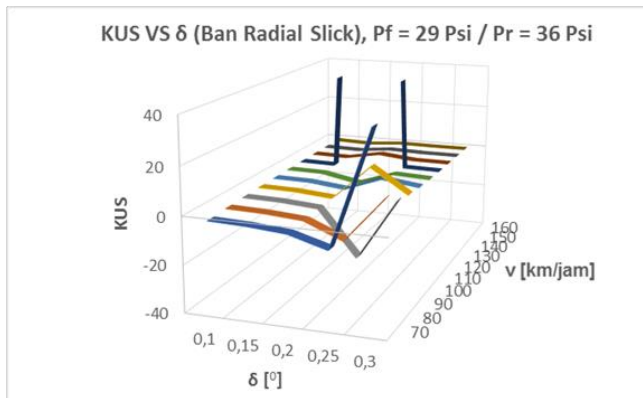
Perilaku belok sepeda motor dapat diketahui lewat nilai Koefisien *Understeer* (KUS). Sepeda motor akan berbelok dengan perilaku netral apabila nilai KUS = 0, *understeer* apabila nilai KUS >0, dan *oversteer* apabila nilai KUS <0 . Grafik nilai Koefisien *Understeer* (KUS) dari sepeda motor Yamaha YZF R25 pada ban radial kembangan dan radial *slick* dengan kecepatan ditunjukkan pada gambar 4.3.

Berdasarkan nilai KUS pada grafik yang ditunjukan gambar 4.3, dapat diketahui bahwa nilai KUS akan berfluktuasi seiring dengan bertambahnya nilai *steering angle* baik pada ban radial kembangan atau ban radial *slick*. KUS pada ban radial kembangan dengan *steering angle* sebesar $0,25^0$ dan pada ban radial *slick* dengan *steering angle* sebesar $0,2^0$ memiliki nilai yang jauh lebih besar dan lebih kecil dari nilai lainnya. Hal ini

disebabkan karena sepeda motor berbelok dengan sudut kemiringan yang lebih kecil dari seharusnya.



(a)



(b)

Gambar 4.3 Grafik KUS vs δ pada Ban Radial Kembangan dan *Slick* dengan Tekanan Ban Pf = 29 Psi dan Pr = 36 Psi

Selain itu, dari perbandingan dua grafik diatas, dapat diketahui juga bahwa ban radial *slick* lebih stabil dibandingkan dengan ban radial kembangan. Hal ini dapat diketahui dari bentuk fluktuasi grafik ban

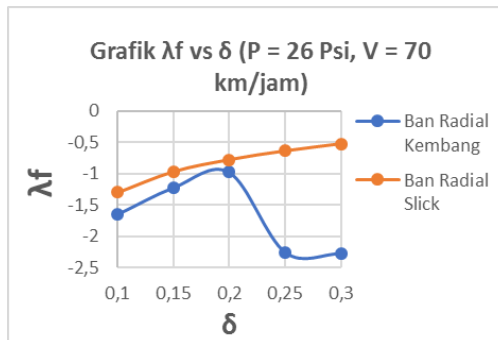
radial *slick* yang lebih datar (cenderung berperilaku belok netral) apabila dibandingkan dengan ban radial kembangan.

Oleh karena itu, berdasarkan grafik yang ada pada gambar 4.3, dapat disimpulkan bahwa kondisi stabilitas arah sepeda motor yang paling baik adalah ketika sepeda motor berbelok dengan nilai *steering angle* sebesar $0,1^0$, menggunakan ban radial slick, dan miring (*lean*) dengan sudut sebesar 50^0 (*maximum lean angle*).

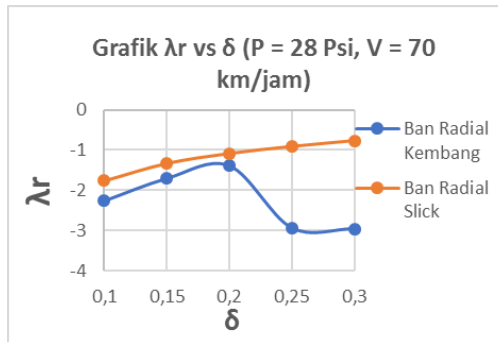
4.2.10 Analisis Perilaku Belok Sepeda Motor dengan Metode Analisis Slip

4.2.10.1 Analisis Besarnya Sudut Slip Sepeda Motor pada Tekanan 26 dan 28 Psi

Pemilihan jenis ban yang sesuai untuk sepeda Motor Yamaha YZF R25 saat berbelok dapat diketahui dengan menggunakan metode analisis slip. Selain jenis ban, variabel yang perlu diperhatikan untuk memahami perilaku belok sepeda motor adalah besar tekanan ban. Perbandingan sudut slip pada ban radial kembangan dan radial *slick* pada $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi dilihat pada gambar 4.4.



(a)



(b)

Gambar 4.4 Grafik λ vs δ Ban Radial *Slick* dan Ban Radial Kembangan pada $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi

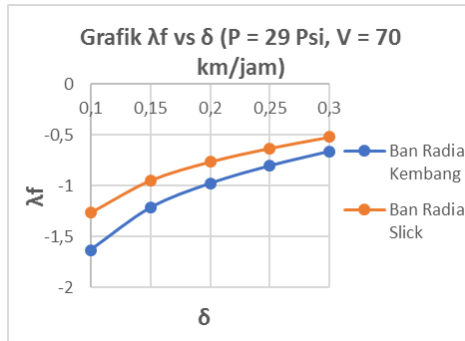
Berdasarkan nilai sudut slip pada grafik yang ditunjukkan gambar 4.4, dapat diketahui bahwa nilai sudut slip ban depan dan ban belakang radial *slick* lebih baik daripada ban radial kembangan. Hal ini ditunjukkan dengan nilainya yang lebih dekat dengan angka 0 (tidak terjadi slip). Selain itu, pada $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi, ban radial kembangan tidak memberikan performa yang baik daripada ban radial *slick* karena nilai sudut slipnya semakin membesar ketika nilai steering angle melewati $0,2^\circ$.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pada $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi, stabilitas arah sepeda motor yang paling baik adalah ketika sepeda motor berbelok dengan menggunakan ban radial *slick*.

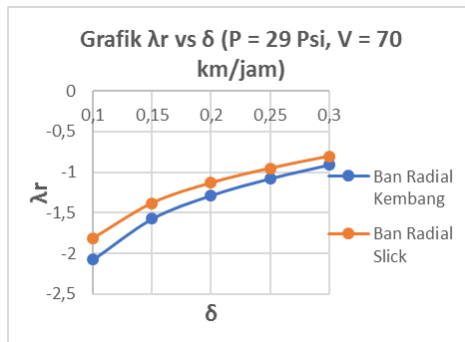
4.2.10.2 Analisis Besarnya Sudut Slip Sepeda Motor pada Tekanan 29 dan 36 Psi

Pada $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi, ban radial kembangan yang ditentukan oleh pabrikan untuk sepeda motor Yamaha YZF R25, tidak memberikan performa yang baik karena memiliki sudut slip yang lebih besar dari ban radial *slick*. Oleh karena itu, akan dilakukan analisis perbandingan sudut slip ban radial kembangan

dan radial *slick* pada tekanan ban standar yang ditentukan oleh pabrikan, yaitu pada $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi. Perbandingan sudut slip pada ban radial kembangan dan radial *slick* pada $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi dilihat pada gambar 4.5.



(a)



(b)

Gambar 4.5 Grafik λ vs δ Ban Radial *Slick* dan Ban Radial Kembangan pada Tekanan $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi

Berdasarkan nilai sudut slip pada grafik yang ditunjukkan gambar 4.5, dapat diketahui bahwa nilai sudut slip ban depan dan ban belakang radial *slick* lebih baik daripada ban radial kembangan, sama seperti pada $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi. Hal ini ditunjukkan

dengan nilai sudut slip ban radial *slick* yang lebih dekat dengan angka 0 (tidak terjadi slip) dibandingkan dengan nilai sudut slip dari ban radial kembangan. Pada $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi, ban radial kembangan memiliki grafik dengan *trendline* yang lebih baik daripada ban radial kembangan pada $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi. Hal ini dapat dilihat dari sudut slipnya yang terus mendekati ke angka 0, berbeda dengan grafik pada $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi yang nilainya kembali menjauhi angka 0 setelah melewati nilai *steering angle* $0,2^0$.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pada $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi, ban radial kembangan memiliki stabilitas arah yang lebih baik dibandingkan dengan ban radial kembangan pada $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi. Hal ini juga menunjukkan bahwa Yamaha sudah menentukan tekanan ban yang tepat bagi sepeda motor YZF R25.

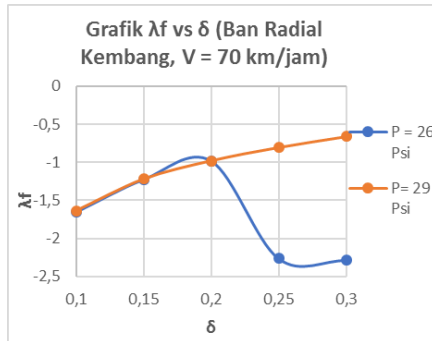
4.2.10.3 Analisis Kombinasi Tekanan Ban bagi Ban Radial Kembangan

Setelah memilih jenis ban yang akan dipakai, akan dianalisis pengaruh kombinasi tekanan ban depan dan ban belakang dari ban tersebut. Kombinasi tekanan ini penting untuk diperhatikan agar sepeda motor bisa berbelok dengan stabilitas arah yang diinginkan oleh pengendara. Pada ban radial kembangan, perbandingan penggunaan tekanan ban ini ditunjukkan pada gambar 4.6.

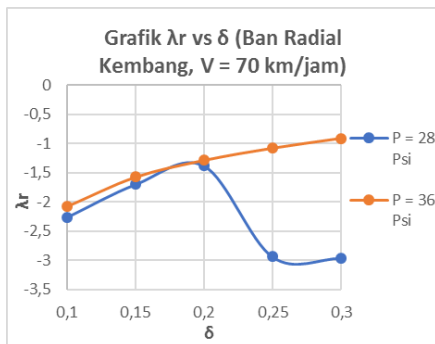
Berdasarkan nilai sudut slip pada grafik yang ditunjukkan gambar 4.6, dapat diketahui bahwa nilai sudut slip ban depan dan ban belakang radial kembangan berimpit pada nilai *steering angle* $0,1^0$ hingga $0,15^0$. Pada *steering angle* sebesar $0,2^0$, nilai sudut slip ban radial kembangan pada $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi semakin menjauh dari titik 0, berbeda dengan nilai sudut slip ban radial kembangan pada $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi yang nilainya terus mendekati angka 0 ketika nilai *steering angle* lebih besar dari $0,2^0$.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa ban radial kembangan akan memberikan performa yang optimal apabila

dikondisikan pada $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi, seperti yang sudah dibahas di sub bab sebelumnya.



(a)

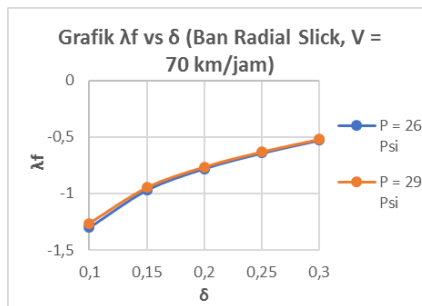


(b)

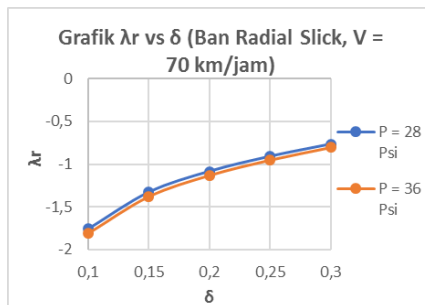
Gambar 4.6 Grafik λ vs δ Ban Radial Kembangan pada Tekanan $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi serta Tekanan $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi

4.2.10.4 Analisis Kombinasi Tekanan Ban bagi Ban Radial Slick

Kemudian, analisis kombinasi tekanan ban juga dilakukan pada ban radial *slick*. Pada sub bab sebelumnya, dapat diketahui bahwa ban *slick* memiliki *trendline* grafik yang identik baik pada $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi maupun $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis lebih lanjut agar kita bisa mengetahui kombinasi tekanan ban yang sesuai pada sepeda motor yang menggunakan ban radial *slick*. Perbandingan penggunaan tekanan ban pada ban radial *slick* ditunjukkan pada gambar 4.7.



(a)



(b)

Gambar 4.7 Grafik λ vs δ Ban Radial Slick pada Tekanan $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi serta Tekanan $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi

Berdasarkan nilai sudut slip pada grafik yang ditunjukkan gambar 4.7, dapat diketahui bahwa nilai sudut slip ban depan dan ban belakang radial kembangan berimpit pada nilai *steering angle* $0,1^0$ hingga $0,3^0$. Meskipun berimpin, dapat diketahui bahwa pada ban depan, ban radial *slick* dengan tekanan 29 Psi memiliki nilai sudut slip yang lebih baik daripada ban radial *slick* dengan tekanan 26 Psi. Sementara itu, di bagian belakang, ban radial *slick* dengan tekanan 28 Psi memiliki nilai sudut slip yang lebih baik daripada ban radial *slick* dengan tekanan 36 Psi.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa ban radial *slick* akan memberikan performa yang optimal apabila dikondisikan pada $P_f = 29$ Psi (keras) dan $P_r = 28$ Psi (kempes). Kombinasi tekanan ban ini sudah sesuai dengan anjuran dari Pirelli sebagai pabrikan yang mensupport ban radial *slick* untuk sepeda motor Yamaha YZF R25 (Tabel rekomendasi tekanan ban terlampir).

4.2.11 Analisis Kondisi Belok Sepeda Motor Berdasarkan Radius Belok Nyata

Selanjutnya, akan dilakukan analisis kondisi belok sepeda motor berdasarkan radius belok nyata. Pada analisis ini, akan dilihat pengaruh parameter kecepatan, *steering angle*, *effective lean angle*, tekanan ban dan juga jenis ban terhadap radius belok nyata dari sepeda motor Yamaha YZF R25. Sepeda motor berada dalam kondisi terpelanting apabila memiliki radius belok nyata yang negatif. Perbandingan variabel-variabel tersebut akan dituangkan pada tabel 4.2.

Berdasarkan tabel 4.2, dapat dilihat beberapa nilai radius belok nyata yang diberi warna kuning (negatif), nilai ini menandakan bahwa sepeda motor sudah terpelanting. Hal tersebut terjadi karena sepeda motor kurang miring (*lean*) saat berbelok. Selanjutnya, dapat diketahui juga bahwa semakin besar kecepatan dan *steering angle*, sudut kemiringan sepeda motor yang dibutuhkan pun akan semakin besar, hal ini dapat dilihat pada kolom ϕ yang nilainya terus meningkat dari baris pertama hingga

baris terakhir. Dengan berbagai variasi variabel yang diberikan, ban radial *slick* memiliki tingkat stabilitas yang lebih baik dari ban radial kembangan, hal ini dapat dilihat dari sedikitnya jumlah radius belok yang bernilai negatif (kolom berwarna merah menandakan radius belok negatif tertinggi). Lalu, dari tabel di atas dapat diketahui juga bahwa ban radial kembangan lebih stabil apabila dikondisikan pada $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi, sementara ban radial *slick* cenderung stabil ketika dikondisikan pada $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi maupun pada kondisi $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi.

Tabel 4.2 Radius Belok Nyata pada Yamaha YZF R25 dengan Variasi V , δ , φ , Tekanan Ban dan Jenis Ban

V [km/jam]	δ [degree]	φ [degree]	R nyata ($P_f = 26$ Psi / $P_r = 28$ Psi)		R nyata ($P_f = 29$ Psi / $P_r = 36$ Psi)	
			kembang	slick	kembang	slick
70	0,25	9,482968509	-183,806121	-4259,546024	-3608,807858	-1100,018632
80		12,33859562	-165,0834688	-156475,6397	-6704,544709	-1768,451753
90		15,53029564	-147,9285163	4211,219695	-218130,6902	-5411,409008
100		19,02878594	-132,5340482	1957,074443	5983,850341	4053,73837
110		22,79598889	-119,1024412	1205,810888	2636,982565	1341,276
120		26,78496827	-107,2254676	826,6395288	1543,881546	750,8495446
130		30,94159012	-96,76688923	598,1633483	1008,994432	492,8041805
140		35,20577589	-87,52135642	446,9236893	699,3744432	349,0313883
450		39,51505857	-79,15037958	341,1364043	503,4530292	258,3520687
160		43,80776417	-71,58897399	264,5163641	372,5352092	196,7888533
70	0,3	11,35237899	-209,5436024	1305,257993	1458,878523	5325,69704
80		14,74670647	-183,2228339	955,1239199	1153,941842	1645,548892
90		18,51824999	-160,1646298	735,2657447	927,5668875	922,0152678
100		22,61916138	-140,9436438	580,2544935	749,1604163	610,5371934
110		26,98899622	-124,1711489	463,4759003	604,0792548	436,330213
120		31,55609764	-110,2866897	372,1988858	484,9744435	325,1185286
130		36,24159466	-97,1517063	299,5357214	387,6207074	248,4568084
140		40,96320342	-86,22618997	241,2812602	308,898658	193,0497999
450		45,64138537	-76,33053438	194,510259	245,954623	151,7576999
160		50,20426156	-67,41754509	156,9747501	196,0474708	120,3318188

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa selain penggunaan jenis ban radial *slick* dan pemberian tekanan ban yang tepat, *effective lean angle* pun sangat berperan untuk menjaga stabilitas arah belok sepeda motor saat berbelok. Semakin besar *effective lean angle* yang bisa dicapai, sepeda motor dapat berbelok dengan kecepatan yang lebih besar tanpa terpelanting.

4.2.12 Analisis Perilaku Belok Sepeda Motor Berdasarkan Analisis *Skid*

Setelah dilakukan analisis kondisi belok berdasarkan radius belok nyata, akan dilakukan analisis berdasarkan metode analisis *skid*. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui apakah sepeda motor mengalami *skid* atau tidak saat sedang berbelok. Hasil dari analisis ini akan ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Analisis *Skid* Perilaku Belok Sepeda Motor Yamaha YZF R25 dengan Variasi V , δ , ϕ , dan Kondisi Jalan pada $P_f = 26$ Psi dan $P_r = 28$ Psi

V [km/jam]	δ [degree]	ϕ [degree]	Roda Depan (ak) [kering]	Roda Depan (ab) [basah]	Roda Belakang (ak) [kering]	Roda Belakang (ab) [basah]
19,4444	0,1	3,810695	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
22,2222		4,974151	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
25		6,289739	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
27,7778		7,755369	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
30,5556		9,368163	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
33,3333		11,12423	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
36,1111		13,0188	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
38,8889		15,04565	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
41,6667		17,19731	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
44,4444		19,46482	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
19,4444	0,3	11,35238	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
22,2222		14,74671	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
25		18,51825	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
27,7778		22,61916	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
30,5556		26,989	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
33,3333		31,5561	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
36,1111		36,24159	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
38,8889		40,9632	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
41,6667		45,64139	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid
44,4444		50,20426	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid

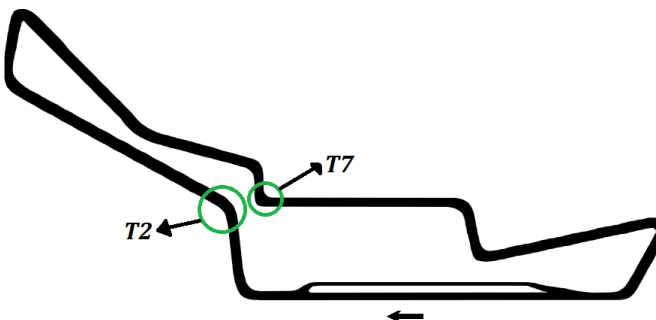
Berdasarkan tabel 4.3, dapat dilihat bahwa sepeda motor Yamaha YZF R25 tidak mengalami *skid* baik pada aspal kering maupun aspal basah dalam rentang variabel kecepatan 70 km/jam (19,44 m/s) hingga 160 km/jam (44,44 m/s) dan rentang variabel steering angle $0,1^0$ hingga $0,3^0$. Hal ini terjadi karena gaya lateral (F_y) pada sepeda motor dapat diimbangi oleh gaya belok (*chamber thrust*) yang dibuat oleh pengendara dengan memiringkan sepeda

motornya sehingga nilainya akan selalu lebih kecil daripada gaya gesek.

Ketika *skid* terjadi meskipun pengendara sudah memiringkan sepeda motor dengan sudut kemiringan yang sesuai, faktor utama yang menyebabkan *skid* adalah kecilnya nilai koefisien gesek antara ban dengan jalan. Oleh karena itu, umumnya ban radial kembangan digunakan saat balapan berlangsung dalam kondisi basah (hujan). Kembangan yang ada pada ban dibuat agar menyapu air keluar dari bidang kontak antara ban dengan jalan sehingga nilai koefisien gesek bertambah dan ban bisa mencengkram aspal dengan baik.

4.2.13 Analisis Perilaku Belok Sepeda Motor Sebenarnya

Selanjutnya, akan dilakukan analisis perilaku belok sepeda motor pada kondisi sebenarnya. Pada analisis ini, akan dilihat pengaruh radius belok sebuah tikungan terhadap variasi kecepatan, *steering angle* dan *effective lean angle*. Radius belok ini diambil dari *racing line* pada tikungan 7 dan tikungan 2 di sirkuit Sentul, dimana tikungan 7 ($R = 39$ m) dan tikungan 2 ($R = 159$ m) merupakan tikungan dengan radius belok terkecil dan radius belok terbesar yang ada pada sirkuit ini. Tikungan 7 dan tikungan 2 akan ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Tikungan 2 dan Tikungan 7 pada Sirkuit Sentul Indonesia

Lewat persamaan (2.13), dapat diketahui bahwa *steering angle* pada tikungan 7 bernilai $0,9^0$ dan pada tikungan 2 bernilai $0,5^0$, kedua *steering angle* tersebut nilainya lebih besar dari variasi yang telah ditentukan ($0,15^0$ - $0,3^0$). Setelah kita mengetahui nilai *steering angle* sebenarnya, akan dilakukan perhitungan *effective lean angle* yang dibutuhkan pada variasi parameter kecepatan yang telah ditentukan. Nilai ini dapat diketahui lewat persamaan (2.12) dan tidak boleh melebihi *maximum lean angle* agar sepeda motor tidak tergelincir. Setelah dilakukan perhitungan, dapat diketahui bahwa V_{\max} yang dapat ditempuh pada tikungan 7 adalah sebesar 70 km/jam ($\varphi = 44,66^0$) dan pada tikungan 2 adalah sebesar 150 km/jam ($\varphi = 48,1^0$).

Dari pemaparan ini, dapat disimpulkan bahwa *steering angle* yang dibutuhkan saat sepeda motor berbelok lebih besar daripada *steering angle* teoritis. V_{\max} yang dapat ditempuh pada tikungan 7 nilainya lebih kecil dari V_{\max} yang telah ditentukan, hal ini menunjukkan *racing line* yang ditentukan bukanlah *racing line* yang optimal. Oleh karena itu, akan lebih baik apabila pembalap menggunakan *racing line* lain agar waktu tempuh yang dicapai bisa lebih singkat, hal ini dapat dilakukan dengan cara mengatur *steering angle*, mengatur *timing* untuk memiringkan sepeda motor dan tidak berbelok dalam keadaan *steady state turn*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis perilaku belok sepeda motor Yamaha YZF R25 menggunakan analisis slip, koefisien *understeer* (KUS), dan analisis *skid* dengan beberapa parameter yang divariasikan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin besar kecepatan dan *steering angle*, sudut kemiringan sepeda motor yang dibutuhkan pun akan semakin besar.
2. Dari dua variasi tekanan yang diberikan, ban radial *slick* memiliki perilaku belok yang lebih baik daripada ban radial kembangan.
3. Ban radial kembangan memiliki perilaku belok yang paling baik saat berada pada variasi $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi.
4. Ban radial *slick* memiliki perilaku belok yang paling baik saat dikondisikan pada $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 28$ Psi (tekanan ban depan lebih keras daripada ban belakang).
5. Ban radial kembangan digunakan saat balapan berlangsung dalam kondisi basah (hujan). Kembangan yang ada pada ban dibuat agar menyapu air keluar dari bidang kontak antara ban dengan jalan sehingga nilai koefisien gesek bertambah dan ban bisa mencengkram aspal dengan baik.
6. Stabilitas arah sepeda motor yang paling baik didapat ketika Yamaha YZF R25 berbelok pada aspal yang kering dengan nilai *steering angle* sebesar $0,1^0$, *effective lean angle* sebesar 50^0 (*maximun lean angle*) dan menggunakan ban radial *slick* dengan besar $P_f = 29$ Psi serta $P_r = 28$ Psi.

5.2 Saran

Dari hasil analisis perilaku belok yang telah dilakukan pada sepeda motor Yamaha YZF R25, terdapat beberapa saran dan rekomendasi sebagai bahan rujukan untuk penelitian selanjutnya. Adapun beberapa saran tersebut antara lain, yaitu :

1. Akan lebih baik apabila dipasang *steering damper* pada *handlebar* sepeda motor Yamaha YZF R25 untuk mengurangi besarnya *steering angle* yang terjadi ketika sedang berbelok.
2. Sebaiknya dilakukan penelitian yang serupa dengan memperhitungkan pengaruh dari suspensi untuk mengetahui pengaruh getaran terhadap perilaku belok sepeda motor Yamaha YZF R25.
3. Sebaiknya dilakukan penelitian dengan menggunakan uji jalan sehingga hasilnya bisa dibandingkan dengan hasil perhitungan sebagai validasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yohanes. 2004. **Analisa Pengaruh Trail dan Castor Angle terhadap Karakteristik Handling Sepeda Motor.** Surabaya : Teknik Mesin ITS.
- [2] Andriansyah, Deva. 2016. **Analisis Pengaruh Parameter Operasional dan Penggunaan Stabilizer terhadap Perilaku Arah Belok Mobil Toyota Fortuner 4.0 V6 SR (AT 4X4).** Surabaya : Teknik Mesin ITS.
- [3] Cossalter, Vittore. 2006. **Motorcycle Dynamics, Second Edition.** ISBN : 978-1430308614.
- [4] Pacejka, H.B. 2002. **Tyre and Vehicle Dynamics.** ISBN : 978-0750651417.
- [5] Sutantra, I Nyoman, dan Bambang Sampurno. 2010. **Teknologi Otomotif, Edisi Kedua.** Surabaya : Guna Widya.
- [6] Web Bike Moto News, 2016. **Yamaha YZF R25 Basic Specification**, <URL:http://japan.webike.net/moto_news/yamaha-ymf-r25/> ; [Accesed 1.4.2017].

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Tabel A.1 Hasil Total Analisis Radius Belok Nyata pada Yamaha YZF R25 dengan Variasi V, δ , ϕ , Tekanan Ban dan Jenis Ban


V [km/jam]	δ [degree]	ϕ [degree]	R nyata (Pf = 26 Psi / Pr = 28 Psi)		R nyata (Pf = 29 Psi / Pr = 36 Psi)	
			kembang	slick	kembang	slick
70	0,1	3,810695	-154,0768369	-220,6891174	-232,8652151	-176,9174974
80		4,974151	-158,7740642	-225,8674145	-229,715203	-180,856803
90		6,289739	-162,0838672	-228,8998608	-225,6056502	-184,3132043
100		7,755369	-164,4351816	-230,4518906	-220,7858443	-187,5202648
110		9,368163	-166,1398293	-231,0064	-215,5115784	-190,6705468
120		11,12423	-167,4581608	-230,960892	-210,0404875	-193,9599715
130		13,0188	-168,6352865	-230,6787313	-204,6255553	-197,6175293
140		15,04565	-169,9227702	-230,5184866	-199,5118481	-201,9299902
450		17,19731	-171,595544	-230,854606	-194,9342388	-207,2722057
160		19,46482	-173,969577	-232,0982876	-191,1203646	-214,1505795
70	0,15	5,709752	-241,5624001	-377,3673836	-389,6468258	-280,1565656
80		7,447259	-255,4421503	-397,7036774	-391,9048326	-296,4667629
90		9,406433	-269,0462849	-417,1068017	-393,0637218	-314,9813632
100		11,5804	-283,3586685	-437,2204968	-393,807681	-337,0587569
110		13,95984	-299,518868	-459,9355978	-395,0145718	-364,7296441
120		16,5325	-319,1007298	-487,8545134	-397,7981215	-401,3831745
130		19,28331	-344,5438172	-525,0201845	-403,5929163	-453,2377849
140		22,19373	-380,0031196	-578,3998967	-414,3402542	-533,0804403
450		25,24216	-433,386559	-661,5870398	-432,8951969	-672,120269
160		28,40402	-522,1695239	-805,9766159	-463,9365641	-972,111527
70	0,2	7,601314	-388,8170222	-748,0430534	-752,2686379	-471,5981625
80		9,903805	-436,0796819	-864,0060829	-796,4019415	-540,2515851
90		12,48996	-495,6426902	-1021,813569	-849,1666555	-640,0918436
100		15,34407	-578,466549	-1268,009899	-918,9720792	-803,5321794
110		18,44522	-708,5407788	-1736,11236	-1022,164496	-1127,842489
120		21,76674	-952,6905754	-3043,262169	-1194,639593	-2102,14867
130		25,27665	-1596,834906	-30412,22597	-1534,902163	272325,1323
140		28,93749	-8196,78692	3065,809934	-2456,88344	1757,093674
450		32,70777	2066,769962	1307,043059	-11403,66646	806,0875423
160		36,54326	824,0023749	768,2594602	3093,003415	490,1872174
70	0,25	9,482969	-183,806121	-4259,546024	-3608,807858	-1100,018632
80		12,3386	-165,0834688	-156475,6397	-6704,544709	-1768,451753
90		15,5303	-147,9285163	4211,219695	-218130,6902	-5411,409008
100		19,02879	-132,5340482	1957,074443	5983,850341	4053,73837
110		22,79599	-119,1024412	1205,810888	2636,982565	1341,276
120		26,78497	-107,2254676	826,6395288	1543,881546	750,8495446
130		30,94159	-96,76688923	598,1633483	1008,994432	492,8041805
140		35,20578	-87,52135642	446,9236893	699,3744432	349,0313883
450		39,51506	-79,15037958	341,1364043	503,4530292	258,3520687
160		43,80776	-71,58897399	264,5163641	372,5352092	196,7888533
70	0,3	11,35238	-209,5436024	1305,257993	1458,878523	5325,69704
80		14,74671	-183,2228339	955,1239199	1153,941842	1645,548892
90		18,51825	-160,1646298	735,2657447	927,5668875	922,0152678
100		22,61916	-140,9436438	580,2544935	749,1604163	610,5371934
110		26,989	-124,1711489	463,4759003	604,0792548	436,330213
120		31,5561	-110,2866897	372,1988858	484,9744435	325,1185286
130		36,24159	-97,1517063	299,5357214	387,6207074	248,4568084
140		40,9632	-86,22618997	241,2812602	308,898658	193,0497999
450		45,64139	-76,33053438	194,510259	245,954623	151,7576999
160		50,20426	-67,41754509	156,9747501	196,0474708	120,3318188

Tabel A.2 Rekomendasi Pabrikan (Pirelli) untuk Menentukan Kombinasi Tekanan Ban Radial *Slick* Sepeda Motor Yamaha YZF R25

Pressure Recommendations

PIRELLI		RIM recommended (inches)	COLD PRESSURE recommended range psi	HOT PRESSURE recommended range psi	WARMERS usage °C (°F)
S L I C K	DIABLO SUPERBIKE & SUPERBIKE PRO				
	front - 120/75-420 (16.5")	3.50	31/32	32/35	45-60 mins. @ 79°C (175°F)
	rear - 190/65-420 (16.5")	6.25	24/29	26/29	
	front - 120/70-17	3.50	31/32	32/35	
	rear - 160/60-17	4.50	24/29	26/29	
	rear - 180/55-17	5.50	24/29	26/29	
	rear - 190/55-17	6.00	24/29	26/29	
	rear - 190/60-17	6.00	24/29	26/29	
rear - 200/60-17	6.00	24/29	26/29		
D O T	DIABLO SUPERCORSA & DRAGON SUPERCORSA PRO				
	front - 110/70-17	3.00	31/32	32/35	45-60 mins. @ 79°C (175°F)
	front - 120/70-17	3.50	31/32	32/35	
	rear - 150/60-17	4.00	26/29	28/30	
	rear - 160/60-17	4.50	26/29	28/30	
	rear - 180/55-17	5.50	26/29	28/30	
	rear - 180/60-17	5.50	26/29	28/30	
	rear - 190/55-17	6.00	26/29	28/30	
	DIABLO ROSSO CORSA				
	front - 120/70-17	3.50	31/35	N/A	N/A
rear - 160/60-17	4.50	26/32	N/A		
rear - 180/55-17	5.5	28/32	N/A		
rear - 190/55-17	6.00	28/32	N/A		
R A I N	DIABLO RAIN				
	front - 120/75-420 (16.5")	3.50	34	35	30-45 mins. @ 65°C (150°F)
	rear - 190/65-420 (16.5")	6.00	29	31	
	front - 120/70-17	3.50	34	35	
	rear - 160/60-17	4.50	29	31	
	rear - 190/60-17	5.50	29	31	


Tabel A.2 Rekomendasi Pabrikan (Pirelli) untuk Menentukan Kombinasi Tekanan Ban Radial Kembangan Sepeda Motor Yamaha YZF R25



**THE PERFECT PIRELLI TIRES
FOR YOUR
YAMAHA
YZF-R3 A (> 2015)
RH 07**

DIABLO^{ROSSO}


The ultimate sport tire for absolute road use




[View all sizes](#)

SPORT DEMON⁺

A x-ply tire for motorcycles destined for touring



[View all sizes](#)


×

AVAILABLE SIZES FOR YOU
DISCOVER MORE

110/70 R 17 M/C 54H TL - 2 BAR ^{FRONT}
140/70 R 17 M/C 66H TL - 2.5 BAR ^{REAR}

Tabel A.3 Hasil Total Analisis *Skid* Perilaku Belok Sepeda Motor Yamaha YZF R25 dengan Variasi V , δ , φ , dan Kondisi Jalan pada $P_f = 26$ Psi dan $Pr = 28$ Psi

Parameter			Gaya Lateral			Analisis Skid						
V	δ	ϕ	F _{fl}	F _{fr}	F _{fl}	F _{fr}	Roda Depan (ak)	Roda Depan (ab)	Roda Belakang (ak)	Roda Belakang (ab)		
[km/jam]	[degree]	[degree]	[lb]	[lb]	[lb]	[lb]	[kerning]	[baseline]	[kerning]	[baseline]		
70	0,1	3,10695	4,0457224	5,18747	199,2853593	110,7140885	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	265,1690267	1473,163	Tidak Skid
80		4,974151	5,2922409	6,78607	198,1464952	110,0813862	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	266,078908	1473,488	Tidak Skid
90		6,289739	6,7131269	8,6081	196,8631468	109,3684149	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	267,5912393	148,6618	Tidak Skid
100		7,755369	8,3138741	10,6608	195,4404242	108,5780135	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	269,0136918	149,4522	Tidak Skid
110		9,368163	10,10235	12,9544	193,8853343	107,7140746	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	270,5690517	150,3161	Tidak Skid
120		11,12423	12,089095	15,5024	192,2071825	106,781768	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	272,2472036	151,4484	Tidak Skid
130		13,0188	14,288201	18,323	190,4176325	105,7875736	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	274,0367535	152,2426	Tidak Skid
140		15,04565	16,717527	21,4391	188,5313122	104,7396179	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	275,9230738	153,2906	Tidak Skid
150		17,19731	19,399687	24,8798	186,5657197	103,647622	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	277,8886664	154,3826	Tidak Skid
160		19,46482	22,36266	28,6813	184,5413689	102,5229827	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	279,9130171	155,5072	Tidak Skid
70	0,15	5,709752	6,0850727	7,80272	199,2997547	110,722086	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	265,1546313	1473,081	Tidak Skid
80		7,447259	7,9750113	10,2271	198,1746862	110,0970479	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	266,2796998	1479,932	Tidak Skid
90		9,06433	10,145198	13,0094	196,9159014	109,397723	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	267,3384847	148,6325	Tidak Skid
100		11,5804	12,612936	16,1743	195,5344705	108,6302614	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	268,9199156	149,4	Tidak Skid
110		13,95984	15,405433	19,756	194,0452744	107,8029302	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	270,4091117	150,2273	Tidak Skid
120		16,5325	18,585826	23,8007	192,4674887	106,9263778	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	271,986906	151,1038	Tidak Skid
130		19,28331	22,119781	28,3696	190,8244887	106,0136049	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	273,6298973	152,0166	Tidak Skid
140		22,19373	26,150088	33,5412	189,1441314	105,080073	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	275,3102547	152,9501	Tidak Skid
150		25,24216	30,726701	39,4149	187,4579043	104,1432802	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	276,9964818	153,8869	Tidak Skid
160		28,40402	35,94877	46,1146	185,8001303	103,2222946	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	278,6502557	154,8079	Tidak Skid
70	0,2	7,601314	8,1446373	10,4438	199,3197789	110,7332105	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	265,1346071	147,297	Tidak Skid
80		9,903805	10,703679	13,7256	198,2137257	110,1187365	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	266,2466604	1479,9115	Tidak Skid
90		12,48996	13,667974	17,5274	196,98849	109,43805	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	267,4689861	148,5922	Tidak Skid
100		15,34407	17,082835	21,9076	195,66274	108,7015222	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	268,791646	149,3287	Tidak Skid
110		18,44522	21,011578	26,9478	194,2408904	107,93227169	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	270,1934957	150,1075	Tidak Skid
120		21,76674	25,53976	32,758	192,8132011	107,118445	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	271,641185	150,9118	Tidak Skid
130		25,27665	30,780927	39,4844	191,3549688	106,308316	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	273,0994173	151,7219	Tidak Skid
140		28,93749	36,881537	47,3158	189,9255178	105,5141766	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	274,5286682	152,516	Tidak Skid
150		32,70777	44,028566	56,4927	188,5659919	104,7588844	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	275,8883941	153,2713	Tidak Skid
160		36,54236	52,457489	67,3185	187,3169755	104,0649864	Tidak Skid	Tidak Skid	Tidak Skid	277,1374105	153,9652	Tidak Skid

V [km/jam]	Parameter		Gaya Lateral		Analisis Skid						Roda Belakang (ab)	
	δ [degree]	ϕ [degree]	Fyf [lb]	Fvr [lb]	Fgf (ak) [lb]	Fgf (ab) [lb]	Roda Depan (ak) [kering]	Roda Depan (ab) [basah]	Fgf (ak) [lb]	Fgf (ab) [lb]	Roda Belakang (ak) [kering]	Roda Belakang (ab) [basah]
70	0,25	9,482969	10,230967	13,1193	199,3453051	110,7473917	Tidak Skid	Tidak Skid	265,1090809	147,2838	Tidak Skid	Tidak Skid
80		12,3386	13,491429	17,3001	198,2632	110,1462222	Tidak Skid	Tidak Skid	266,1911861	147,884	Tidak Skid	Tidak Skid
90		15,5303	17,31186	22,2014	197,0797121	109,4887289	Tidak Skid	Tidak Skid	267,374674	148,5415	Tidak Skid	Tidak Skid
100		19,02879	21,781031	27,935	195,8221075	108,7900597	Tidak Skid	Tidak Skid	268,6322785	149,2402	Tidak Skid	Tidak Skid
110		22,79599	27,023245	34,6617	194,5248237	108,0693405	Tidak Skid	Tidak Skid	269,9295233	149,9609	Tidak Skid	Tidak Skid
120		26,78497	33,207127	42,5987	193,2285561	107,3491979	Tidak Skid	Tidak Skid	271,2258299	150,681	Tidak Skid	Tidak Skid
130		30,94159	40,557284	52,0352	191,9779908	106,6544393	Tidak Skid	Tidak Skid	272,4763953	151,3758	Tidak Skid	Tidak Skid
140		35,20678	49,366036	63,3476	190,8190372	106,0105762	Tidak Skid	Tidak Skid	273,6353489	152,0196	Tidak Skid	Tidak Skid
150		39,51506	60,010696	77,0217	189,7950603	105,4417002	Tidak Skid	Tidak Skid	274,6593258	152,5885	Tidak Skid	Tidak Skid
160		43,80776	72,97427	93,6794	188,9434892	104,9686051	Tidak Skid	Tidak Skid	275,5108969	153,0616	Tidak Skid	Tidak Skid
70	0,3	11,35238	12,350775	15,838	199,3761737	110,7646541	Tidak Skid	Tidak Skid	265,0782123	147,2657	Tidak Skid	Tidak Skid
80		14,74671	16,353865	20,9725	198,322597	110,1792206	Tidak Skid	Tidak Skid	266,131789	147,851	Tidak Skid	Tidak Skid
90		18,55825	21,107427	27,0707	197,1881139	109,5489522	Tidak Skid	Tidak Skid	267,2662721	148,4813	Tidak Skid	Tidak Skid
100		22,61916	26,76551	34,3309	196,0089024	108,8938347	Tidak Skid	Tidak Skid	268,4444837	149,1364	Tidak Skid	Tidak Skid
110		26,899	33,544412	43,0316	194,8287741	108,2382078	Tidak Skid	Tidak Skid	269,625612	149,792	Tidak Skid	Tidak Skid
120		31,5561	41,739085	53,5526	193,6966271	107,6092373	Tidak Skid	Tidak Skid	270,7797759	150,421	Tidak Skid	Tidak Skid
130		36,24159	51,745035	66,4032	192,6623068	107,0346149	Tidak Skid	Tidak Skid	271,7920792	150,9956	Tidak Skid	Tidak Skid
140		40,9632	64,083226	82,2542	191,7721714	106,5400952	Tidak Skid	Tidak Skid	272,6822146	151,4901	Tidak Skid	Tidak Skid
150		45,64139	79,437075	101,985	191,0645486	106,1469715	Tidak Skid	Tidak Skid	273,3898374	151,8832	Tidak Skid	Tidak Skid
160		50,20426	98,701725	126,75	190,5667072	105,8703929	Tidak Skid	Tidak Skid	273,8876788	152,1598	Tidak Skid	Tidak Skid

Tabel A.4 Hasil Total Analisis *Skid* Perilaku Belok Sepeda Motor Yamaha YZF R25 dengan Variasi V , δ , ϕ , dan Kondisi Jalan pada $P_f = 29$ Psi dan $P_r = 36$ Psi

Parameter			Gaya Lateral			Analisis Skid									
V	δ	ϕ	F _y	F _x	F _y	F _g (ab)	Roda Depan (ak)	Roda Depan (ab)	F _g (ak)	F _g (ab)	Roda Belakang (ak)	Roda Belakang (ab)			
[km/jam]	[degree]	[degree]	[lb]	[lb]	[lb]	[lb]	[kering]	[basah]	[lb]	[lb]	[kering]	[basah]			
70	0,1	3,810695	4,045572	5,187472	199,2854	110,7141	Tidak Skid	Tidak Skid	265,169	147,3161	Tidak Skid	Tidak Skid			
80		4,974151	5,292241	6,786068	198,1465	110,0814	Tidak Skid	Tidak Skid	266,3079	147,9488	Tidak Skid	Tidak Skid			
90		6,289739	6,713127	8,608105	196,8631	109,3884	Tidak Skid	Tidak Skid	267,5912	148,6618	Tidak Skid	Tidak Skid			
100		7,755369	8,313874	10,66085	195,4404	108,578	Tidak Skid	Tidak Skid	269,014	149,4522	Tidak Skid	Tidak Skid			
110		9,388163	10,10235	12,95443	193,8853	107,7141	Tidak Skid	Tidak Skid	270,5691	150,3161	Tidak Skid	Tidak Skid			
120		11,12423	12,0891	15,50242	192,2072	106,7818	Tidak Skid	Tidak Skid	272,2472	151,2484	Tidak Skid	Tidak Skid			
130		13,0188	14,2882	18,32297	190,4176	105,7876	Tidak Skid	Tidak Skid	274,0368	152,2426	Tidak Skid	Tidak Skid			
140		15,04565	16,71753	21,43906	188,5313	104,7396	Tidak Skid	Tidak Skid	275,9231	153,2906	Tidak Skid	Tidak Skid			
450		17,19731	19,39969	24,87983	186,5657	103,6476	Tidak Skid	Tidak Skid	277,8887	154,3826	Tidak Skid	Tidak Skid			
160		19,46482	22,36266	28,68129	184,5414	102,523	Tidak Skid	Tidak Skid	279,913	155,5072	Tidak Skid	Tidak Skid			
70	0,15	5,709752	6,085073	7,802724	199,2998	110,7221	Tidak Skid	Tidak Skid	265,1546	147,3081	Tidak Skid	Tidak Skid			
80		7,447259	7,975601	10,222705	198,1747	110,097	Tidak Skid	Tidak Skid	266,2797	147,9332	Tidak Skid	Tidak Skid			
90		9,406433	10,1452	13,00937	196,9159	109,3977	Tidak Skid	Tidak Skid	267,5385	148,6325	Tidak Skid	Tidak Skid			
100		11,5804	12,61294	16,17426	195,5345	108,6303	Tidak Skid	Tidak Skid	268,9199	149,4	Tidak Skid	Tidak Skid			
110		13,95984	15,40543	19,75599	194,0453	107,8029	Tidak Skid	Tidak Skid	270,4091	150,2273	Tidak Skid	Tidak Skid			
120		16,5325	18,55853	23,8007	192,4675	106,9264	Tidak Skid	Tidak Skid	271,9869	151,1038	Tidak Skid	Tidak Skid			
130		19,28331	22,11978	28,36964	190,8245	106,0136	Tidak Skid	Tidak Skid	273,6299	152,0166	Tidak Skid	Tidak Skid			
140		22,19373	26,15009	33,54121	189,1441	105,0801	Tidak Skid	Tidak Skid	275,3103	152,9501	Tidak Skid	Tidak Skid			
450		25,24216	30,7267	39,41488	187,4579	104,1433	Tidak Skid	Tidak Skid	276,9965	153,8869	Tidak Skid	Tidak Skid			
160		28,40402	35,94588	46,11459	185,8001	103,2223	Tidak Skid	Tidak Skid	278,6543	154,8079	Tidak Skid	Tidak Skid			
70	0,2	7,601314	8,144637	10,44381	199,3198	110,7332	Tidak Skid	Tidak Skid	265,1346	147,297	Tidak Skid	Tidak Skid			
80		9,903805	10,70368	13,72559	198,2137	110,1187	Tidak Skid	Tidak Skid	266,2407	147,9115	Tidak Skid	Tidak Skid			
90		12,48996	13,66797	17,52742	196,9885	109,438	Tidak Skid	Tidak Skid	267,4659	148,5922	Tidak Skid	Tidak Skid			
100		15,34407	17,08283	21,90764	195,6627	108,7015	Tidak Skid	Tidak Skid	268,7916	149,3287	Tidak Skid	Tidak Skid			
110		18,44522	21,01158	26,94776	194,2609	107,9227	Tidak Skid	Tidak Skid	270,1935	150,1075	Tidak Skid	Tidak Skid			
120		21,76674	25,53976	32,75797	192,8132	107,1184	Tidak Skid	Tidak Skid	271,6412	150,9118	Tidak Skid	Tidak Skid			
130		25,27665	30,78093	39,48445	191,3555	106,3083	Tidak Skid	Tidak Skid	273,0994	151,7219	Tidak Skid	Tidak Skid			
140		28,93749	36,88154	47,31578	189,9255	105,5142	Tidak Skid	Tidak Skid	274,5289	152,516	Tidak Skid	Tidak Skid			
450		32,70777	44,02857	56,49273	188,566	104,7589	Tidak Skid	Tidak Skid	275,8884	153,2713	Tidak Skid	Tidak Skid			
160		36,54326	52,45575	67,3185	187,317	104,065	Tidak Skid	Tidak Skid	277,1374	153,9652	Tidak Skid	Tidak Skid			

V	Parameter		Gaya Lateral				Analisis Skid					
	δ	ϕ	Fyf	Fyr	Fgf (ak)	Fgf (ab)	Roda Depan (ak)	Roda Depan (ab)	Fgf (ak)	Fgf (ab)	Roda Belakang (ak)	Roda Belakang (ab)
[km/jam]	[degree]	[degree]	[lb]	[lb]	[lb]	[lb]	[kering]	[basah]	[lb]	[lb]	[kering]	[basah]
70	0,25	9,48269	10,23097	13,11934	199,3453	110,7474	Tidak Skid	Tidak Skid	265,1091	147,2828	Tidak Skid	Tidak Skid
80		12,3386	13,49143	17,30097	198,2632	110,1462	Tidak Skid	Tidak Skid	266,1912	147,884	Tidak Skid	Tidak Skid
90		15,5303	17,31186	22,2014	197,0797	109,4887	Tidak Skid	Tidak Skid	267,3747	148,5415	Tidak Skid	Tidak Skid
100		19,02879	21,78103	27,93495	195,8221	108,7901	Tidak Skid	Tidak Skid	268,6323	149,2402	Tidak Skid	Tidak Skid
110		22,79599	27,02324	34,66167	194,5248	108,0693	Tidak Skid	Tidak Skid	269,9296	149,9609	Tidak Skid	Tidak Skid
120		26,78497	33,20713	42,59868	193,2286	107,3492	Tidak Skid	Tidak Skid	271,2258	150,681	Tidak Skid	Tidak Skid
130		30,94159	40,55728	52,03518	191,978	106,6544	Tidak Skid	Tidak Skid	272,4764	151,3758	Tidak Skid	Tidak Skid
140		35,20578	49,36604	63,34757	190,819	106,0106	Tidak Skid	Tidak Skid	273,6353	152,0196	Tidak Skid	Tidak Skid
450		39,51506	60,0107	77,02169	189,7951	105,4417	Tidak Skid	Tidak Skid	274,6593	152,5885	Tidak Skid	Tidak Skid
160		43,80776	72,97426	93,67943	188,9435	104,9686	Tidak Skid	Tidak Skid	275,5109	153,0616	Tidak Skid	Tidak Skid
70	0,3	11,35238	12,35077	15,83797	199,3762	110,7645	Tidak Skid	Tidak Skid	265,0782	147,2657	Tidak Skid	Tidak Skid
80		14,74671	16,35386	20,97248	198,3226	110,1792	Tidak Skid	Tidak Skid	266,1318	147,851	Tidak Skid	Tidak Skid
90		18,51825	21,10743	27,07067	197,1881	109,549	Tidak Skid	Tidak Skid	267,2663	148,4813	Tidak Skid	Tidak Skid
100		22,61916	26,76551	34,33087	196,0089	108,8938	Tidak Skid	Tidak Skid	268,4455	149,1364	Tidak Skid	Tidak Skid
110		26,989	33,54441	43,03159	194,8288	108,2382	Tidak Skid	Tidak Skid	269,6256	149,792	Tidak Skid	Tidak Skid
120		31,5561	41,73909	53,55261	193,6966	107,6092	Tidak Skid	Tidak Skid	270,7578	150,421	Tidak Skid	Tidak Skid
130		36,24159	51,74504	66,4032	192,6623	107,0346	Tidak Skid	Tidak Skid	271,7921	150,9956	Tidak Skid	Tidak Skid
140		40,9632	64,08323	82,25415	191,7722	106,5401	Tidak Skid	Tidak Skid	272,6822	151,4901	Tidak Skid	Tidak Skid
450		45,64139	79,43707	101,9854	191,0645	106,147	Tidak Skid	Tidak Skid	273,3898	151,8832	Tidak Skid	Tidak Skid
160		50,20426	98,70173	126,7497	190,5667	105,8704	Tidak Skid	Tidak Skid	273,8877	152,1598	Tidak Skid	Tidak Skid

Tabel A.5 Hasil Total Analisis KUS Sepeda Motor Yamaha YZF R25 pada Besar Pf = 26 Psi dan Pr = 28 Psi

v [km/jam]	δ [degree]	φ [degree]	KUS	
			Ban Radial Kembangan	Ban Radial Slick
70	0,1	3,810695	-2,45111733	-2,623953333
80		4,974151	-1,885963058	-2,019245942
90		6,289739	-1,495335737	-1,600210121
100		7,755369	-1,214209409	-1,298141334
110		9,368163	-1,005268646	-1,073425308
120		11,12423	-0,845873008	-0,901939681
130		13,0188	-0,721628411	-0,76830332
140		15,04565	-0,623054818	-0,662360887
450		17,19731	-0,543694626	-0,57717926
160		19,46482	-0,479037346	-0,507905938
70	0,15	5,709752	-2,991498095	-3,520049072
80		7,447259	-2,331718628	-2,755628596
90		9,406433	-1,874371472	-2,22965153
100		11,5804	-1,545533051	-1,838956936
110		13,95984	-1,30276816	-1,555597978
120		16,5325	-1,120625799	-1,344115319
130		19,28331	-0,983562451	-1,187219371
140		22,19373	-0,88257229	-1,075610625
450		25,24216	-0,814064614	-1,007483381
160		28,40402	-0,781627778	-0,993049407
70	0,2	7,601314	-4,069034253	-5,933170752
80		9,903805	-3,303123624	-5,003300012
90		12,48996	-2,796850432	-4,448606055
100		15,34407	-2,476045421	-4,229380349
110		18,44522	-2,319659277	-4,479041172
120		21,76674	-2,380288284	-6,071826987
130		25,27665	-2,997343595	-46,35263256
140		28,93749	-11,14670217	3,46450921
450		32,70777	1,888944109	1,030368994
160		36,54326	0,425813851	0,370446393
70	0,25	9,482969	-3,243625309	-29,68149053
80		12,3386	-2,390411514	-778,6790336
90		15,5303	-1,821400397	15,28389718
100		19,02879	-1,426401646	5,21528294
110		22,79599	-1,143560617	2,336724731
120		26,78497	-0,934697788	1,126579847
130		30,94159	-0,776757969	0,530221572
140		35,20578	-0,654761763	0,211922186
450		39,51506	-0,558544502	0,03516847
160		43,80776	-0,481521927	-0,064220057
70	0,3	11,35238	-3,682421996	8,1087486
80		14,74671	-2,662486183	4,12159024
90		18,51825	-1,995112108	2,22129044
100		22,61916	-1,542727038	1,20801057
110		26,989	-1,222109721	0,630249407
120		31,5561	-0,990140841	0,287821259
130		36,24159	-0,814025029	0,081251632
140		40,9632	-0,68062723	-0,043303444
450		45,64139	-0,576126561	-0,11700665
160		50,20426	-0,493083625	-0,158762278

Tabel A.6 Hasil Total Analisis KUS Sepeda Motor Yamaha YZF R25 pada Besar Pf = 29 Psi dan Pr = 36 Psi

v [km/jam]	δ [degree]	φ [degree]	KUS	
			Ban Radial Kembangan	Ban Radial Slick
70	0,1	3,810695	-2,45111733	-2,623953333
80		4,974151	-1,885963058	-2,019245942
90		6,289739	-1,495335737	-1,600210121
100		7,755369	-1,214209409	-1,298141334
110		9,368163	-1,005268646	-1,073425308
120		11,12423	-0,845873008	-0,901939681
130		13,0188	-0,721628411	-0,76830332
140		15,04565	-0,623054818	-0,662360887
450		17,19731	-0,543694626	-0,57717926
160		19,46482	-0,479037346	-0,507905938
70	0,15	5,709752	-2,991498095	-3,520049072
80		7,447259	-2,331718628	-2,755628596
90		9,406433	-1,874371472	-2,222965153
100		11,5804	-1,545533051	-1,838956936
110		13,95984	-1,30276816	-1,555597978
120		16,5325	-1,120625799	-1,344115319
130		19,28331	-0,983562451	-1,187219371
140		22,19373	-0,88257229	-1,075610625
450		25,24216	-0,814064614	-1,007483381
160		28,40402	-0,781627778	-0,993049407
70	0,2	7,601314	-4,069034253	-5,933170752
80		9,903805	-3,303123624	-5,003300012
90		12,48996	-2,796850432	-4,448606055
100		15,34407	-2,476045421	-4,229380349
110		18,44522	-2,319659277	-4,479041172
120		21,76674	-2,380288284	-6,071826987
130		25,27665	-2,997343595	-46,35263256
140		28,93749	-11,14670217	3,46450921
450		32,70777	1,888944109	1,030368994
160		36,54326	0,425813851	0,370446393
70	0,25	9,482969	-3,243625309	-29,68149053
80		12,3386	-2,390411514	-778,6790336
90		15,5303	-1,821400397	15,28389718
100		19,02879	-1,426401646	5,21528294
110		22,79599	-1,143560617	2,336724731
120		26,78497	-0,934697788	1,126579847
130		30,94159	-0,776757969	0,530221572
140		35,20578	-0,654761763	0,211922186
450		39,51506	-0,558544502	0,03516847
160		43,80776	-0,481521927	-0,064220057
70	0,3	11,35238	-3,682421996	8,1087486
80		14,74671	-2,662486183	4,12159024
90		18,51825	-1,995112108	2,22129044
100		22,61916	-1,542727038	1,20801057
110		26,989	-1,222109721	0,630249407
120		31,5561	-0,990140841	0,287821259
130		36,24159	-0,814025029	0,081251632
140		40,9632	-0,68062723	-0,043303444
450		45,64139	-0,576126561	-0,11700665
160		50,20426	-0,493083625	-0,158762278

Tabel A.7 Hasil Total Analisis Slip Sepeda Motor Yamaha YZF R25 pada Besar Pf = 26 Psi dan Pr = 28 Psi

V [km/jam]	δ [degree]	φ [degree]	Ban Radial Kembangan		Ban Radial Slick	
			λ_f	λ_r	λ_f	λ_r
70	0,1	3,810695	-1,651853435	-2,26497534	-1,302456705	-1,76069911
80		4,974151	-1,484912296	-2,082853823	-1,175345966	-1,625375208
90		6,289739	-1,325420715	-1,913194122	-1,052688767	-1,498080851
100		7,755369	-1,166705821	-1,74750439	-0,929479175	-1,372545139
110		9,368163	-1,005046122	-1,580911544	-0,802930391	-1,245172857
120		11,12423	-0,838192943	-1,410312066	-0,671358003	-1,113667903
130		13,0188	-0,664650087	-1,233473674	-0,533634909	-0,976363515
140		15,04565	-0,48335583	-1,048627199	-0,388952146	-0,831919
450		17,19731	-0,293465286	-0,854201026	-0,23665341	-0,679120911
160		19,46482	-0,094248612	-0,648697035	-0,076158136	-0,51679055
70	0,15	5,709752	-1,22427148	-1,701558342	-0,970984171	-1,330488764
80		7,447259	-1,059679366	-1,519182712	-0,843711653	-1,192503378
90		9,406433	-0,893445114	-1,337298642	-0,71381578	-1,05336004
100		11,5804	-0,721344045	-1,150355097	-0,578118458	-0,908943008
110		13,95984	-0,540743524	-0,954700852	-0,434621718	-0,756515784
120		16,5325	-0,349723125	-0,747482509	-0,281841071	-0,593897991
130		19,28331	-0,14661512	-0,526078533	-0,118454642	-0,41903971
140		22,19373	0,070191312	-0,287860137	0,056845912	-0,229841871
450		25,24216	0,302427484	-0,029996724	0,245494456	-0,024006374
160		28,40402	0,552042076	0,250634925	0,449127635	0,201035211
70	0,2	7,601314	-0,979935944	-1,383271177	-0,780455039	-1,08614441
80		9,903805	-0,803841664	-1,185139265	-0,642721095	-0,934225311
90		12,48996	-0,620182736	-0,979693209	-0,497616095	-0,774988527
100		15,34407	-0,425307519	-0,761979553	-0,342347305	-0,604697133
110		18,44522	-0,216395132	-0,527976853	-0,174703122	-0,420241765
120		21,76674	0,009198409	-0,273787822	0,007447003	-0,218531765
130		25,27665	0,254329758	0,004819192	0,206456515	0,003856896
140		28,93749	0,522254019	0,312608751	0,425049435	0,25083714
450		32,70777	0,81684706	0,655100083	0,666502326	0,526990157
160		36,54326	1,142769797	1,038716365	0,934782796	0,837690998
70	0,25	9,482969	-2,260274848	-2,94040307	-0,642336167	-0,910896878
80		12,3386	-2,400238002	-3,129148462	-0,490199476	-0,740704731
90		15,5303	-2,562858757	-3,347307435	-0,32629675	-0,557523045
100		19,02879	-2,746741899	-3,593269366	-0,147468434	-0,3570713
110		22,79599	-2,954634443	-3,86843444	0,04939827	-0,135035728
120		26,78497	-3,189510639	-4,176837338	0,26782033	0,113460808
130		30,94159	-3,45684336	-4,523860427	0,512053731	0,39422532
140		35,20578	-3,763125921	-4,916450587	0,787304572	0,714203228
450		39,51506	-4,116824484	-5,365685139	1,100026994	1,081782382
160		43,80776	-4,529815949	-5,884178753	1,45821433	1,507100187
70	0,3	11,35238	-2,283557134	-2,960854265	-0,529334978	-0,768764423
80		14,74671	-2,451126024	-3,182623553	-0,360540547	-0,577765738
90		18,51825	-2,644787108	-3,438405456	-0,175268771	-0,36774275
100		22,61916	-2,867082591	-3,728017429	0,030611302	-0,133137793
110		26,989	-3,121280966	-4,057984425	0,261780561	0,132361599
120		31,5561	-3,415719589	-4,432580347	0,523950098	0,436363952
130		36,24159	-3,756180592	-4,869961461	0,82429942	0,788241896
140		40,9632	-4,15834447	-5,375237586	1,171835031	1,199503246
450		45,64139	-4,635559619	-5,971320742	1,577927565	1,684385304
160		50,20426	-5,207213074	-6,679907806	2,056945593	2,260594747

Tabel A.8 Hasil Total Analisis Slip Sepeda Motor Yamaha YZF R25 pada Besar Pf = 29 Psi dan Pr = 36 Psi

V [km/jam]	δ [degree]	ϕ [degree]	Ban Radial Kembangan		Ban Radial Slick	
			λ_r	λ_r	λ_r	λ_r
70	0,1	3,810695	-1,636020678	-2,075531239	-1,264753933	-1,811630026
80		4,974151	-1,477049919	-1,921216082	-1,146266382	-1,68340891
90		6,289739	-1,322389952	-1,772825325	-1,029748672	-1,558693523
100		7,755369	-1,16658937	-1,624674828	-0,911216928	-1,432825761
110		9,368163	-1,006592283	-1,473441251	-0,788444206	-1,303087167
120		11,12423	-0,840537552	-1,316942125	-0,660074197	-1,167685105
130		13,0188	-0,667166466	-1,153531697	-0,525183219	-1,025249955
140		15,04565	-0,485568503	-0,981836698	-0,383093854	-0,874616678
450		17,19731	-0,294997913	-0,800571611	-0,233238607	-0,714670356
160		19,46482	-0,09479108	-0,608458144	-0,075099022	-0,544279438
70	0,15	5,709752	-1,219090172	-1,571992377	-0,947972444	-1,380172505
80		7,447259	-1,058556051	-1,41028921	-0,826340224	-1,243014974
90		9,406433	-0,894477348	-1,245615728	-0,700669283	-1,101668895
100		11,5804	-0,723337644	-1,074096044	-0,568382786	-0,95294189
110		13,95984	-0,542890124	-0,893035146	-0,427816474	-0,794580319
120		16,5325	-0,351436453	-0,700180981	-0,277684859	-0,624654252
130		19,28331	-0,147440934	-0,493331884	-0,116793013	-0,441227278
140		22,19373	0,070628142	-0,270181704	0,056081436	-0,242226763
450		25,24216	0,304456235	-0,028175036	0,242309683	-0,025318372
160		28,40402	0,555968443	0,235556783	0,443479148	0,212150825
70	0,2	7,601314	-0,978798742	-1,283894443	-0,764309167	-1,131952314
80		9,903805	-0,80493672	-1,104208452	-0,631014366	-0,977353964
90		12,48996	-0,622119654	-0,915222933	-0,489411459	-0,812925297
100		15,34407	-0,427180331	-0,713211454	-0,337132457	-0,63552329
110		18,44522	-0,217556413	-0,494902281	-0,172206895	-0,442305513
120		21,76674	0,00925463	-0,256924492	0,007346041	-0,230263193
130		25,27665	0,256034684	0,004526384	0,203777242	0,004067558
140		28,93749	0,526005328	0,293826268	0,419733141	0,26472801
450		32,70777	0,823037314	0,616104438	0,658424389	0,556503314
160		36,54326	1,151808031	0,977369012	0,923756538	0,885042261
70	0,25	9,482969	-0,804553782	-1,076461349	-0,630305721	-0,952177413
80		12,3386	-0,612847916	-0,874639947	-0,482027647	-0,776733532
90		15,5303	-0,407075115	-0,657437559	-0,321326707	-0,585936617
100		19,02879	-0,183566265	-0,420354003	-0,145376945	-0,37587391
110		22,79599	0,061349517	-0,15866917	0,048736807	-0,142319173
120		26,78497	0,331841351	0,133050073	0,264399084	0,119693414
130		30,94159	0,632955107	0,461310544	0,505763839	0,416193079
140		35,20578	0,970847891	0,833892056	0,777947488	0,75446064
450		39,51506	1,353131801	1,260167702	1,087315051	1,143323241
160		43,80776	1,789206622	1,75142871	1,441763478	1,593514891
70	0,3	11,35238	-0,662156042	-0,907963593	-0,5201150917	-0,805305874
80		14,74671	-0,45000351	-0,681490352	-0,354922543	-0,606877663
90		18,51825	-0,218234273	-0,433000312	-0,172754732	-0,387007562
100		22,61916	0,038020683	-0,15644758	0,030199945	-0,140307207
110		26,989	0,324318322	0,15519552	0,258442464	0,139635968
120		31,5561	0,647437915	0,510457227	0,517549507	0,460722974
130		36,24159	1,015880182	0,91984297	0,814581863	0,832786868
140		40,9632	1,440271027	1,39621322	1,158426531	1,267959201
450		45,64139	1,933980064	1,955422284	1,560321417	1,781284769
160		50,20426	2,513845942	2,617116638	2,034478983	2,391497225

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak pertama dari bapak Dadan Munajat dan ibu Nenden Hernawati yang dilahirkan di kota Bandung pada tanggal 6 Oktober 1993. Penulis menempuh jenjang Pendidikan formal dimulai dari TK Bandung Raya di kota Bandung pada tahun 1998, kemudian dilanjutkan di SD YWKA Bandung pada tahun 1999, SMP Darul Hikam Bandung pada tahun 2005, dan SMA Negeri 5 Bandung pada tahun 2008. Setelah itu, penulis dinyatakan diterima sebagai mahasiswa di jurusan S-1 Teknik Mesin FTI-ITS melalui jalur Mandiri pada tahun 2012. Selama menjalani kehidupan kampus, penulis pernah mengikuti beberapa kegiatan kemahasiswaan seperti Badan Eksekutif Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember (BEM-ITS), Mesin Music Club (MMC), dan *Young Engineers and Scientists Summit* (YES Summit). Pada periode 2014-2015, penulis diamanahi sebagai staf divisi Eksternal MMC, koordinator divisi Akomodasi dan Transportasi YES Summit 2014, dan chief *Talkshow Program Mechanical City* 2015. Di jurusan Teknik Mesin, Penulis mengambil bidang studi otomotif. Penulis memiliki hobi bermain drum, olahraga otomotif, futsal, berenang, dan mendaki gunung. Motto hidup yang dijunjung tinggi oleh penulis yaitu, “*All is well if you realize that price is less important than the value*”. Apabila ada hal yang ingin ditanyakan seputar tugas akhir ini, penulis dapat dihubungi melalui alamat email dan nomor telepon di bawah ini.

email : ahmadhilman28@gmail.com
No. Telp : 085294964480